

*Artículo de Investigación*

## Comparação de modelagem espacial na cultura do citros

### Space modeling comparison in the citrus culture

**Yane de Freitas da Silva**

Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas–Unicamp–SP,  
Enga. Agrônoma, Mestre em Agronomia(Ciência do Solo) 018981573440.

(Autor para correspondência)

[yanefsilva@gmail.com](mailto:yanefsilva@gmail.com)

**Joao Alberto Fischer Filho**

Eng. Agrônomo, Doutorando Agronomia (Ciência do Solo), Depto. de Engenharia Rural,  
FCAV/UNESP, Jaboticabal

[joaofischer16@gmail.com](mailto:joaofischer16@gmail.com)

**Anderson Prates Coelho**

Eng. Agrônomo, Doutorando Agronomia (Ciência do Solo), Depto. de Engenharia Rural,  
FCAV/UNESP, Jaboticaba

[anderson\\_100ssp@hotmail.com](mailto:anderson_100ssp@hotmail.com)

**Aline Michele Barbosa**

Eng. Agrônomo, Mestrando em Agronomia (Produção Vegetal), Depto. de Engenharia  
Rural, FCAV/UNESP, Jaboticabal

[aline.m.barbosa@hotmail.com](mailto:aline.m.barbosa@hotmail.com)

**Thiago de Andrade Águas**

Enga Ambiental, Mestre em Agronomia (Ciência do solo), Depto. de Engenharia Rural,  
FCAV/UNESP, Jaboticabal

[thdeandrade@gmail.com](mailto:thdeandrade@gmail.com)

**José Renato Zanini**

Geógrafo, Doutorando Agronomia (Ciência do Solo), Depto de Ciências Exatas,  
FCAV/UNESP, Jaboticabal

[Jrzanini@fcav.unesp.br](mailto:Jrzanini@fcav.unesp.br)

**Fernando Braz Tangerino Hernandez**

Eng. Agrônomo, Prof. Dr., Depto. de Engenharia Rural, FCAV/UNESP, Jaboticabal,  
[jrzanini@fcav.unesp.br](mailto:jrzanini@fcav.unesp.br); 7Eng. Agrônomo, Prof. Dr., Depto. de Fitossanidade e Engenharia  
Rural, FEIS/UNESP, Ilha Solteira.

[fbthernandez@feis.unesp.br](mailto:fbthernandez@feis.unesp.br)

Fecha de envío: 30/09/2018

Fecha de revisión:10/10/2018

Fecha de aprobación: 20/11/2018

DOI: 10.25054/22161325.2502

#### Resumo

O citros é uma das atividades mais importantes no noroeste de São Paulo, exigindo altos investimentos e o uso da irrigação vem aumentando como requisito para a viabilidade da atividade, necessidade de alta produtividade na região com as maiores taxas de evapotranspiração e déficit hídrico do estado. O objetivo deste projeto foi determinar a evapotranspiração real de citros e os coeficientes de cultura nos diferentes

estádios fenológicos sob condições de chuva e diferentes sistemas de irrigação, fazendo uso combinado de técnicas de sensoriamento remoto e variáveis climáticas obtidas de estações meteorológicas aplicando e validando o SAFER e o FAO 56 em grande escala. O coeficiente de safra estimado pelo SAFER apresentou valores menores do que aqueles sugeridos pela FAO, o que estimula mais pesquisas sobre o assunto, considerando que é o primeiro estudo a estimar o uso de água por citros na região noroeste de São Paulo, que combina informações coletadas no solo (estações agrometeorológicas) com imagens de satélite orbitais.

**Palavras-chave:** coeficiente de cultura, evapotranspiração, necessidade de água.

## Abstract

Citrus is one of the most important activities in the northwest of São Paulo, demanding high investments and the use of irrigation has been increasing as a requirement for the viability of the activity, the need for high productivity in the region with the highest rates of evapotranspiration and water deficit of the state. The objective of this project was to determine the actual evapotranspiration of citrus and the crop coefficients in the different phenological stages under rainfall conditions and different irrigation systems, using combined techniques of remote sensing and climatic variables obtained from meteorological stations applying and validating SAFER and the FAO 56 on a large scale. The SAFER estimated harvest values were lower than those suggested by the FAO, which stimulates more research on the subject, considering that it is the first study to estimate the use of water by citrus in the northwest region of São Paulo, which combines information collected in the soil (agrometeorological stations) with orbital satellite images.

**Keywords:** water available, irrigated agriculture, evapotranspiration

## 1. Introdução

O Brasil é, atualmente, o maior produtor mundial de citros, com produção em 2011 de aproximadamente 18 milhões de toneladas, seguido dos EUA, China e México. A produção de citros do Estado de São Paulo corresponde à cerca de 75% da produção nacional. A produção das culturas, e, particularmente neste estudo, a de citros, associada às condições climáticas e edáficas, é função da presença de água e nutrientes no solo em época e quantidades apropriadas. O conhecimento da quantidade de água distribuída na planta, e utilizada por ela, é de grande interesse, principalmente para cálculo da evapotranspiração de cada cultura.

Segundo Reuther (1973) os estudos relacionados com a influência do ambiente sobre a cultura de citros devem ser direcionados principalmente para avaliação dos efeitos dos fatores climáticos sobre a transpiração e uso de água pelas plantas e sobre o regime hídrico do solo, em virtude da forte relação entre disponibilidade de água no solo com

a produtividade, vigor das plantas e qualidade dos frutos. Esta é, também, a posição de Oliveira (1991) o qual acrescenta que, por ser os citros uma espécie perenifólia, requer níveis contínuos de umidade no solo, além de condições adequadas de drenagem, porosidade e permeabilidade.

Este trabalho teve por objetivo determinar a evapotranspiração atual ou real da cultura do citros em diferentes fases fenológicas, sistemas de irrigação e sob diferentes suprimentos hídricos na região noroeste paulista, fazendo uso combinado de técnicas de sensoriamento remoto e das variáveis climáticas obtidas pela Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, aplicando e validando os modelos Teixeira (2010), recentemente batizado de SAFER (Teixeira, *et al.*, 2012) e FAO boletim 56 (Allen, *et al.*, 1998) em escala regional.

## 2. Material e métodos

Este trabalho foi conduzido na região noroeste do Estado de São Paulo (Figura 1), localizado

principalmente entre os municípios de Populina e Santa Fé do Sul e utilizando dados da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista operada pela UNESP Ilha Solteira. De acordo com Köppen, o clima da região em estudo é classificado com subtropical úmido, CWa, com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso. O solo predominante é classificado como Argissolo vermelho e Argissolo-Amarelo.

Levando em consideração que a região de estudo apresenta déficits hídricos prolongados ao longo de oito meses por ano e a maior taxa de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) do Estado de São Paulo, com suscetibilidade a veranicos (Damião, *et al.*, 2010), ainda que tenha uma precipitação anual média histórica de 1.354 mm (Damião, *et al.*, 2010) no período de 2000 a 2010. Foram identificadas diferentes áreas cultivadas com citros sob condição de irrigação (por pivô central, carretel enrolador e microaspersão) e de sequeiro em diferentes idades fenológicas e partir destas áreas-controle sendo determinada a evapotranspiração real da cultura através do uso combinado de variáveis agrometeorológicas e de imagens do satélite Landsat em duas épocas, na época chuvosa e na época seca, e através dos softwares ArcGis e ILWIS, sendo obtidos então os coeficientes de cultura atual em diferentes estádios de desenvolvimento pelo método tradicional.

As análises iniciais foram feitas com imagens do ano de 2011 (Landsat 5) por ter um melhor contraste do que as atuais, principalmente em relação a porcentagem de nuvens. Uma imagem sendo de época úmida (10 de abril) e uma imagem sendo de época seca (17 de setembro), adquiridas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. As variáveis climáticas foram obtidas através das estações automáticas que compõem a Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista, sendo a ET<sub>o</sub> (Penman-Monteith) interpolada por krigagem e posteriormente inseridas no algoritmo SAFER

utilizado para obtenção da evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) e do balanço de radiação e energia.

O coeficiente de cultura para citros utilizados em ambientes irrigados na região foram os sugeridos por Allen, *et al.*, (1998) ou antes, Doorenbos e Kassam (1994) e é geral e para condições potenciais, e assim, foi obtido regionalmente nesta pesquisa com culturas sob condições de sequeiro e irrigadas, para diferentes sistemas de irrigação.

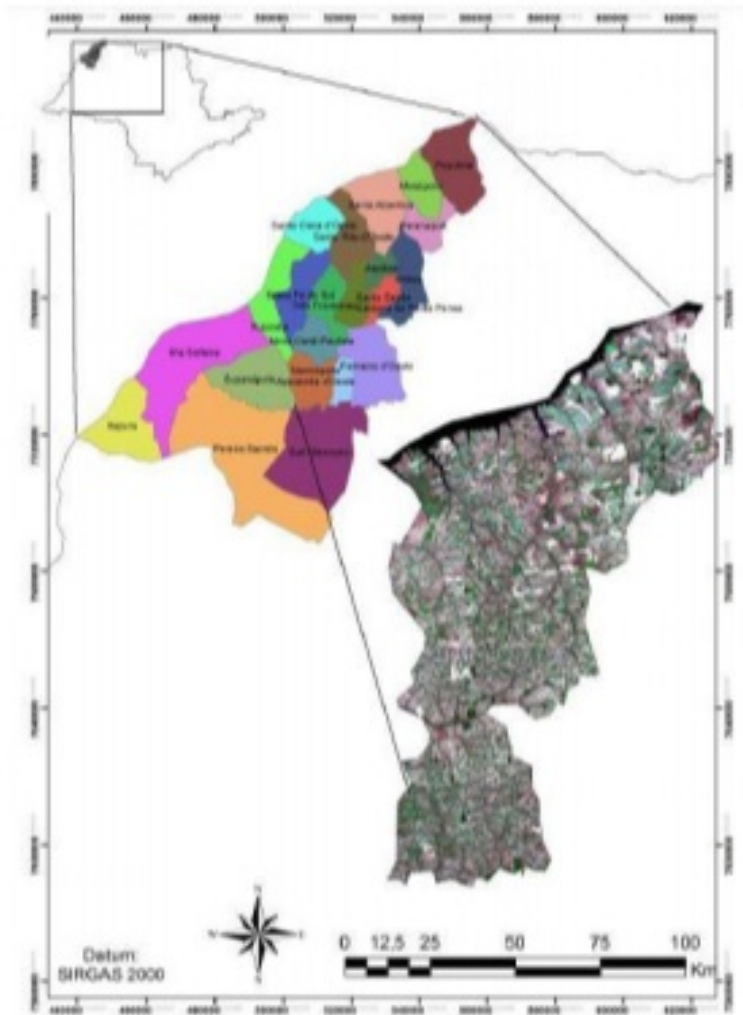
Após a identificação das áreas de citros e construção dos polígonos e visita em campo para confirmação do alvo e obtenção de informações adicionais sobre idade e sistemas de irrigação foi aplicado o método tradicional de estimativa da evapotranspiração potencial da cultura pelo método da FAO Boletim 56 (Allen, *et al.*, 1998) através da expressão (1).

$$ET_c = ET_o K_c \quad (1)$$

sendo:

ET<sub>c</sub> = evapotranspiração da cultura (mm/dia);  
 ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência (mm/dia);  
 K<sub>c</sub> = coeficiente de cultura (adimensional) - FAO 56 (Allen, *et al.*, 1998).

A evapotranspiração de referência representa o consumo potencial de uma cultura de referência (grama batatais) sem restrição de água e nutrientes, selecionada para propósitos comparativos sob dadas condições meteorológicas, com adequados tratos e foi obtida na Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista operada pela UNESP Ilha Solteira. E a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) obtida neste caso representará a potencial, ou o máximo consumo de água, a partir dos coeficientes de cultura determinado experimentalmente e foi comparado com os obtidos na modelagem baseada em sensoriamento remoto.



**Figura 1.** Mapa de localização da área estudada

SAFER (Teixeira, et al., 2012) é baseado na equação de Penman-Monteith para obter a evapotranspiração real em larga escala. No SEBAL - um método bastante aceito - o  $K_c$  é calculado, enquanto que no SAFER, a relação  $E_{Tr} E_{To}^{-1}$  (coeficiente de cultura real) é modelada e não há a necessidade de se identificar os extremos representados pelos pixel frio e pixel quente e a implementação foi baseada em Teixeira (2010), porém utilizando o coeficiente “a” no valor de 1,0 (Hernandez, et al., 2012); (Hernandez, et al., 2013); (Teixeira, et al., 2013), que preliminarmente compararam os modelos sob condições de irrigação por pivô central no noroeste de São Paulo, tomando-se como referência o manejo de água baseado no tradicional método da FAO (Allen, et al., 1998).

Inicialmente correções atmosféricas foram realizadas com posterior conversão dos valores digitais em radiância espectral para cada banda, sendo que a Radiância é a intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica, sendo medida em watts por metro quadrado por esterradiano. Para cada banda é calculada então a reflectância, a partir dos valores de radiância obtidos anteriormente, sendo a reflectância o processo pelo qual a radiação “resvala” num objeto como o topo de uma nuvem, um corpo d’água, ou um solo exposto.

Os fundamentos do sensoriamento remoto termal estão embasados na Termodinâmica Clássica e na Física Quântica. O problema de se estimar a

temperatura de um corpo por meio de sensores remotos é solucionado utilizando as Leis de Kirchhoff e a Lei de Planck. Para elaborar a carta de temperatura da superfície, utilizou-se a imagem do canal do infravermelho termal (faixa espectral de 10,4 a 12,5  $\mu\text{m}$ ) do sensor TM do satélite Landsat - 5, com resolução espacial de 60 metros.

Posteriormente os dados de albedo de superfície, temperatura de superfície e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), foram utilizados para se calcular os valores instantâneos da relação  $\text{ETr}/\text{ETo}^{-1}$ . Onde para o coeficiente “a” foi utilizado o valor de 1,0 (Hernandez, *et al.*, 2012); (Teixeira, *et al.*, 2013) e o coeficiente “b” foi obtido por Teixeira (2010) correspondendo ao valor de -0.008.

### 3. Resultados e discussão

Na Tabela 1 foram realizados os cálculos do  $\text{ETc}$  determinado pelo método tradicional, tanto para o dia 10 de abril de 2011 como para a de 17 de setembro de 2011. Foram utilizados para a Evapotranspiração de Referência, os valores medidos pelas estações agrometeorológicas do noroeste paulista, operada pela Área de Hidráulica e Irrigação da Unesp de Ilha Solteira. Analisando a Tabela 1, podemos perceber que a  $\text{ETc}$  aumentou em condições de maiores estresses hídrico, ou seja, na data de setembro já é a que obteve mais dias sem chuvas se comparada com a de abril. Pelo fato de nessa época ter uma evaporação e uma transpiração maior, mesmo em sistemas irrigados, já que o cálculo não consegue distinguir uma produção quando irrigada, ou seu estágio de desenvolvimento.

Em relação ao  $\text{Kc}$ , Allen *et al.* (1998), no Boletim da FAO-56, recomendam valores de  $\text{Kc}$  para citros entre 0.70 e 0.75 para diferentes estádios fenológicos quando o grau de cobertura é em torno de 70% e a altura de plantas é no máximo 4m, como foi realizado uma pesquisa de campo com os produtores das áreas processadas, foi possível estimar um  $\text{Kc}$  para cada polígono de acordo com seu desenvolvimento

fenológico.

A relação  $\text{ETr}/\text{ETo}^{-1}$  quando comparados as duas épocas houve áreas que tiveram valores menores mesmo quando está em fase inicial da cultura. Esse fato ocorre devido a interação desta relação e a cultura em si, podendo sofrer o efeito da frequência de umedecimento da superfície do solo, devido essa superfície estar descoberta ou pouco vegetada, ou ainda a frequência que houve de irrigação.

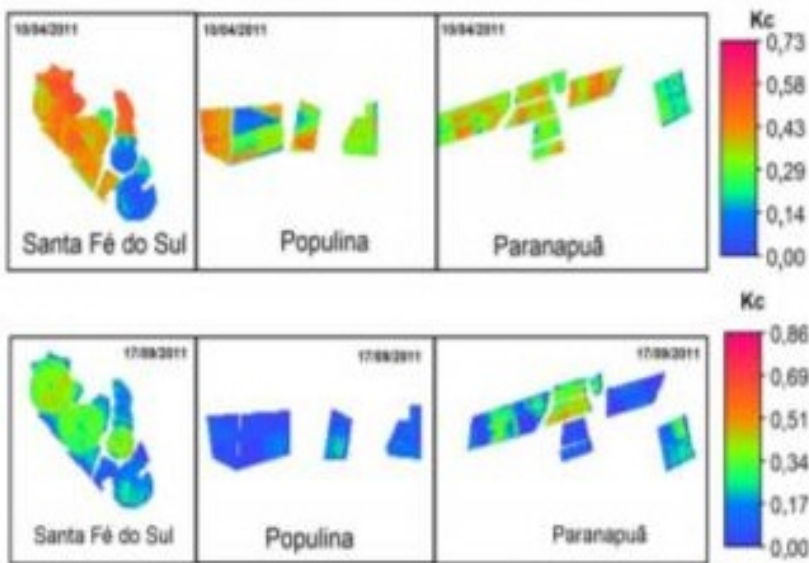
A Figura 2 mostra a diferença em relação ao coeficiente de cultura, no qual consegue ter, mesmo com diferença de 5 meses, mapas temáticos diferentes mostrando a variação do  $\text{Kc}$  para a cultura do citros no noroeste paulista, sendo de fundamental importância a obtenção de valores destes  $\text{Kc}$  para que possam ser utilizados para o dimensionamento e o manejo de sistemas de irrigação, levando em consideração também as condições de umedecimento da superfície do solo que podem ocorrer de acordo com a última irrigação realizada na área antes do satélite passar.

A Figura 3 consegue expor visualmente a diferença na evapotranspiração das áreas onde o sistema de irrigação é do tipo pivô central (Santa Fé do Sul) e as áreas onde são irrigadas por canhão - carretel enrolador (Paranapuã), tanto na data mais chuvosa quanto na data mais seca, evidentemente na data mais chuvosa os dois sistemas de irrigação conseguem ter uma uniformidade, porém na data mais seca pode ver uma variação maior no sistema de irrigação tipo carretel enrolador.

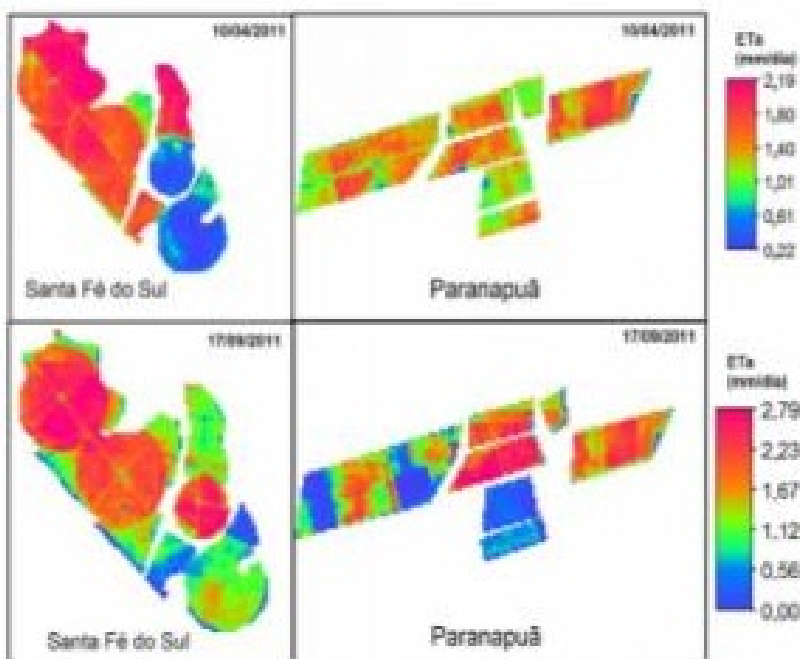
Pode-se analisar as áreas irrigadas e as de sequeiros, áreas onde possuem a mesma idade cronológica da cultura, sendo essas com predominância de variedades do tipo Pera Rio. A área de Paranapuã é de sequeiro e a de Populina é irrigada, na data mais seca a  $\text{ETa}$  é menor na área irrigada, como mostra o mapa temático (Figura 4).

**Tabela 1.** Condições hídricas da região do noroeste paulista nas datas das imagens utilizadas

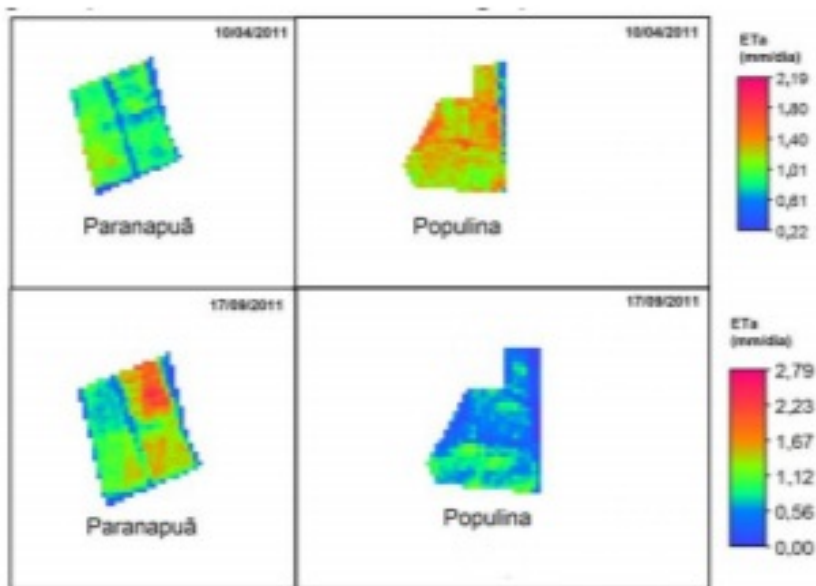
Data da imagem	Dia Juliano	Chuva acumulada em 180 dias – CA - (mm)	ETo acumulada em 180 dias (mm)	CA – ETo (mm)	Dias sem chuva maior que 10 mm	Última chuva (mm)
10/04/2011	100	1284.3	337.6	946.7	8	17.5
17/09/2011	260	2723	630.5	-358.2	45	20.1



**Figura 2.** Coeficiente da cultura (Kc) calculados pelo método de SAFER



**Figura 3.** Comparação de sistemas de irrigação analisando a ETr



**Figura 4.** Diferença de ETr comparando com sistemas irrigados e não irrigado

#### 4. Conclusões

A combinação de sensoriamento remoto com estações agrometeorológicas possibilita avaliar variáveis para possível melhoramento no manejo da irrigação e um possível diagnóstico da quantidade necessária de água a ser aplicada em cada área, podendo ser feito tanto para épocas chuvosas quando a precipitação não consegue suprir a necessidade da planta e tanto para épocas de secas que o irrigante necessita de informação para o manejo adequado de sua cultura, para que assim obtenha uma maior produtividade sem que haja desperdício de recursos hídricos. Os valores de ETr ETo-1 obtidos pelo modelo SAFER, que na prática corresponderia ao coeficiente de cultura real e sob condições de irrigação deveriam representar a condição potencial. Todavia, em uma primeira abordagem em citros, pois até o momento só se têm estudos com culturas anuais, o modelo SAFER se mostrou consistente na avaliação do consumo de água pelos pomares e na identificação de possíveis problemas na uniformidade da aplicação de água pelos sistemas de irrigação, ou mesmo, em condições de sequeiro, apontar a variabilidade no consumo de água em um mesmo talhão, o que pode motivar novos estudos sobre o manejo da irrigação praticado, avaliando no tempo com imagens sequenciais possíveis déficits ou excesso

de água aplicada.

#### 5. Referências bibliográficas

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M., 1996. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, p.297
- Damião, J. O., Hernandez, F. B. T., Santos, G. O., Zocoler, J. L., 2010. Balanço hídrico da região de ilha solteira, noroeste paulista. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Uberaba. Consultado em 25 mai 2018. [http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010\\_dami ao.pdf](http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010_dami ao.pdf)
- Hernandez, F. B. T., Neale, C., Taghvaeian, S., Teixeira, A. H. C., 2011. Avaliação preliminar do modelo SEBAL para a estimativa da distribuição espacial da evapotranspiração em áreas irrigadas no noroeste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15, 2011, Curitiba. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Curitiba: INPE, p.5209 – 5216. DOI: <https://doi.org/10.7127/iv-inovagri-meeting-2017-res2810492>.

Hernandez, F. B. T., Teixeira, A. H. C., Neale, C. M. U., Taghvaeian, S., 2012. 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, 7o, Geisenheim - Alemanha, Proceedings, p.51. DOI: <https://doi.org/10.17660/actahortic.2014.1038.31>

INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos. Consultado em 20 abr 2018. <http://www.inpe.br>

Oliveira, J. B., 1991. Solos para citros. In: RODRIGUEZ, O.;VIÉGAS, J.; POMPEU JÚNIOR, J.; AMARO, A. S. (eds.) Citricultura brasileira, 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p.196-227,

Reuther, W., 1973. Climate and citrus behavior. In: REUTHER, W.(ed.) The citrus industry. Berkeley: University of California, v.3, p.280-337, cap.9

Teixeira, A. H. C., 2010. Determining Regional Actual Evapotranspiration of Irrigated Crops and Natural Vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) Using Remote Sensing and Penman-Monteith Equation. Remote Sensing, Petrolina, n. 2, p.1287-1319. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs0251287>

Teixeira, A. H. C., Hernandez, F. B. T., Lopes, H. L. 2012. Application of Landsat images for quantifying the energy balance under conditions of fast land use changes in the semi-arid region of Brazil. In: SPIE Remote Sensing, 2012, Edinburgh. Proc. SPIE 8531, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, XIV, v. 8531. p. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.965882>

Teixeira, A. H. C., Hernandez, F. B. T., Lopes, H. L., Sherer-Warren, M., Bassoi, L.H. 2013. Modelagem espaçotemporal dos componentes dos balanços de energia e de água no Semiárido brasileiro. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite. 32p., (Documentos, 99)

La Revista Ingeniería y Región cuenta con la Licencia **Creative Commons**  
Atribución (BY), No Comercial (NC) y Compartir Igual (SA)

