

## Comparação de modelagem espacial na cultura do citros

Yane de Freitas da Silva <sup>1</sup>  
Diego Gonçalves Feitosa <sup>2</sup>  
Emanoele Caroline Amendola <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP/FCAV  
14884-900 - Jaboticabal - SP, Brasil  
yanefsilva@gmail.com.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP/FEIS  
15385-000 – Ilha Solteira - SP, Brasil  
{emanoele.amendola ; diegogfeitosa}@gmail.com.br

**Abstract.** The citrus is one of the most important activities in the northwest of São Paulo State, requiring high investments and the irrigation use have been increasing as requirement for the activity viability, need for high productivity in the region with the highest rates of evapotranspiration and water deficit of the State. Thus, it becomes essential to have knowledge about the actual crop evapotranspiration in each phenological stage and this knowledge is the basis for the implementation of new irrigation systems, as well as the management of irrigation systems with efficient of water use, which depends on the correct choice of crop coefficients. The aim of this project was to determine the actual evapotranspiration of citrus and the crop coefficients in the different phenological stages under rainfed conditions and different irrigation systems, making combined use of remote sensing techniques and climatic variables obtained from weather stations applying and validating models SAFER (Teixeira et al, 2012) and FAO bill 56 (Allen et al, 1998) on large scale. The estimated crop coefficient by SAFER showed lower values than those suggested by FAO, which stimulates further research on the subject, considering it is the first study to estimate water use by citrus in the northwest region of Sao Paulo, which combines information gathered in soil (agrometeorological stations) with orbital satellite images.

**Palavras-chave:** evapotranspiration, water requirements, crop coefficient, remote sensing, evapotranspiração, necessidade de água, coeficiente de cultura, sensoriamento remoto.

### 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 o 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. Metodologia de Trabalho

### 2.1. Área de estudo

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 ou atual 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.

### 2.2. Processamento das imagens

#### 2.2.1. Aquisição das imagens

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 (ETc) 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.

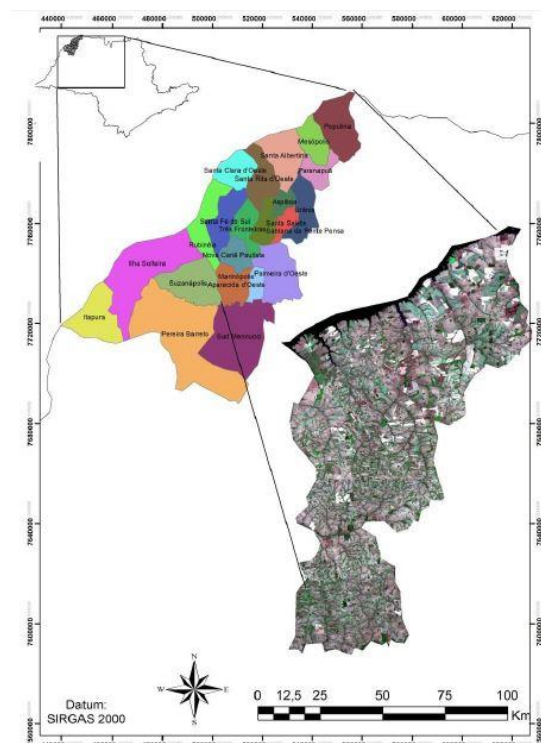


Figura 1 - Mapa de localização da área estudada.

SAFER (Teixeira et al., 2012) é baseado na equação de Penman-Monteith para obter a evapotranspiração atual em larga escala. No SEBAL - um método bastante aceito - o Kc é calculado, enquanto que no SAFER, a relação ETa/ETo (coeficiente de cultura atual) 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 e 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).

### 2.2.2. Conversão dos valores de DN (números digitais) em radiância

Inicialmente correções atmosféricas foram realizadas com posterior conversão dos valores digitais em radiância espectral para cada banda por meio da equação 2, sendo que a Radiância ( $L_{\lambda}$ ) é a intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica, sendo medida em watts por metro quadrado por esterradiano ( $Wm^{-2} sr^{-1}$ ).

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{255} \right) Q_{cal} + L_{MIN} \quad (2)$$

Onde:

$L_{MAX}$  = radiância máxima ( $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ )

$L_{MIN}$  = radiância mínima ( $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ )

$Q_{cal}$  = intensidade do pixel (ND), número inteiro variando de 0 a 255.

### 2.2.3. Cálculo de reflectância

Para cada banda é calculada então a reflectância ( $\rho_{\lambda}$ ) a partir dos valores de radiância obtidos na etapa anterior, 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.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos Z \cdot E_0} \quad (3)$$

Sendo:

$L_{\lambda}$  = radiância de cada banda

$ESUN_{\lambda}$  = irradiância Espectral no Topo da Atmosfera

$\cos Z$  = ângulo zenital

$E_0$  = ângulo diário

### 2.2.4. Albedo no topo da atmosfera

A obtenção do albedo planetário foi feita pela equação 4:

$$\alpha_{top} = \sum(\omega_{\lambda} * \rho_{\lambda}) \quad (4)$$

Onde:

$\rho_{\lambda}$  = reflectância

$\omega_{\lambda}$  = coeficiente para cada banda

### 2.2.5. Albedo de superfície

As informações sobre o albedo de superfície e temperatura de superfície foram obtidos pela equação 4 utilizando os coeficientes de Teixeira (2010):

$$\alpha_o = 0,7 * \alpha_{top} + 0,06 \quad (5)$$

Onde:

$\alpha_{top}$  = Albedo no topo da atmosfera, obtido na equação 4.

### 2.2.6. Temperatura de superfície

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.

A temperatura de superfície foi calculada pela equação 7:

$$T_0 = 1,11 * T_{bright} - 31,89 \quad (6)$$

### 2.2.7. Índice de vegetação de diferença normalizada-NDVI

Em seguida foram calculados os dados de NDVI pela equação 7:

$$NDVI = \frac{(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3)} \quad (7)$$

Sendo:

$\rho_4$  = reflectância da banda 4 - infravermelho próximo

$\rho_3$  = reflectância da banda 3 - banda no vermelho

### 2.2.8. Evapotranspiração em escala regional utilizando o algoritmo SAFER

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  $ET_a/ET_0$ .

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.

$$\frac{ET_a}{ET_0} = \exp \left[ a + b \left( \frac{T_0}{\alpha_o NDVI} \right) \right] \quad (8)$$

Em seguida os valores instantâneos dessa relação são então multiplicados pelos valores diários da  $ET_0$ , chegando assim à  $ET_a$ :

$$ET_a = \frac{ET_a}{ET_0} * ET_0 \quad (9)$$

### 2.2.9. Cálculo do Balanço de Energia

Dentro do cálculo do balanço de energia, o albedo foi calculado pela fórmula 10:

$$Alb_{24} = 1,0223 * \alpha_o + 0,0149 \quad (10)$$

Já a radiação global incidente ( $Rg\downarrow$ ) foi obtida nos piranômetros nas estações agrometeorológicas, enquanto a radiação de onda curta refletida pela superfície ( $Rr\uparrow$ ) foi calculada pela equação 11:

$$Rr\uparrow = Rg\downarrow * Alb_{24} \quad (11)$$

Onde  $Rg\downarrow$  = radiação de onda curta incidente em  $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$

Já os valores de  $Rn$  foram obtidos pela equação 12 :

$$n = (1 - \alpha_o) Rg\downarrow - a\tau_{sw} \quad (12)$$

Onde  $Rg\downarrow$  em  $W/m^2$ ;  $a$  é um coeficiente de regressão entre o saldo de radiação de ondas longas e transmissividade atmosférica de ondas curtas ( $\tau_{sw}$ ), sendo obtido através da equação 13:

$$a = bT_a - c \quad (13)$$

Sendo que “b” e “c” são coeficientes de regressão obtidos por Teixeira et al. (2008a) para condições do semiárido brasileiro, sendo respectivamente 6,99 e 39,93. Os valores de  $T_a$  correspondem a interpolação dos dados de temperatura média do ar.

Os valores de fluxo de calor latente ( $\lambda E$ ) foram obtidos através da conversão da  $ET_a$  em unidades de energia, posteriormente os valores de  $H$  (fluxo de calor sensível) foram determinados como resíduo do balanço de energia, assumindo-se para isso que os valores do fluxo de calor no solo ( $G$ ) correspondem a 0 para o período de 24 horas:

$$H = R_n - \lambda E \quad (14)$$

## 3. Resultados e discussão

### 3.1. Método tradicional

Na Tabela 1 foram realizados os cálculos do  $ET_c$  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  $ET_c$  aumentou em condições de maiores estresse 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  $K_c$ , ALLEN et al. (1998), no Boletim da FAO-56, recomendam valores de  $K_c$  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  $K_c$  para cada polígono de acordo com seu desenvolvimento fenológico.

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

Data da imagem	Dia Juliano	Chuva Acumulada em 180 dias C.A.(mm)	ET <sub>o</sub> Acumulada em 180 dias - ET <sub>o</sub> A (mm)	C.A. - ET <sub>o</sub> A (mm)	Dias sem chuva maior que 10 mm	Última chuva (mm)
10/04/2011	100	1.284,3	337,6	946,7	8	17,5
17/09/2011	260	272,3	630,5	-358,2	45	20,1

Fonte: Dados do próprio autor

A relação  $ET_a/ET_o$  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.

### 3.2. Coeficiente de cultura

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  $K_c$  para a cultura do citros no noroeste paulista, sendo de fundamental importância a obtenção de valores destes  $K_c$  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.

### 3.3. Sistemas de Irrigação

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.

### 3.4. Áreas irrigadas e sequeiros

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  $ET_a$  é menor na área irrigada, como mostra o mapa temático (Figura 4).

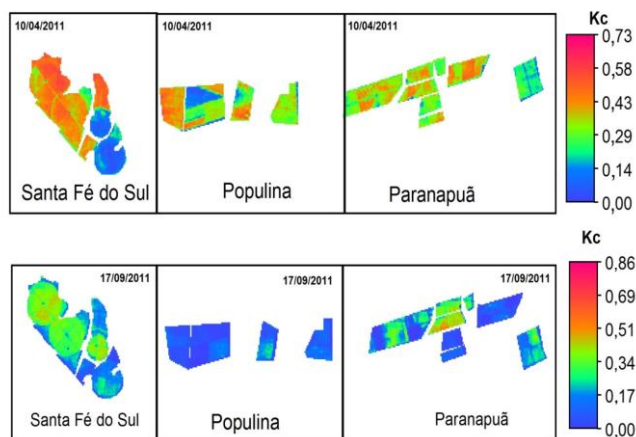


Figura 2 - Coeficiente da cultura ( $K_c$ ) calculados pelo método de SAFER.

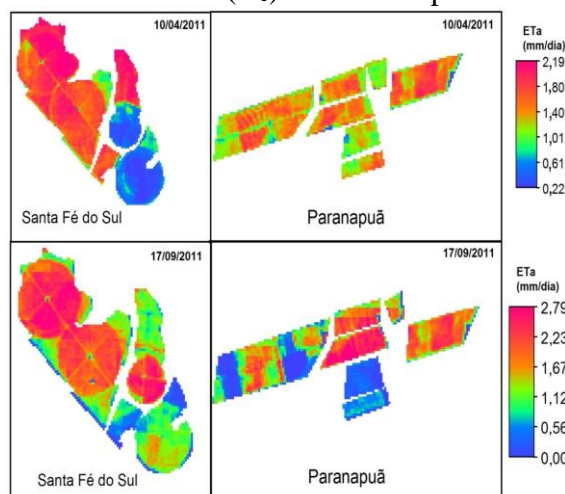


Figura 3 - Comparação de sistemas de irrigação analisando a  $ET_a$ .

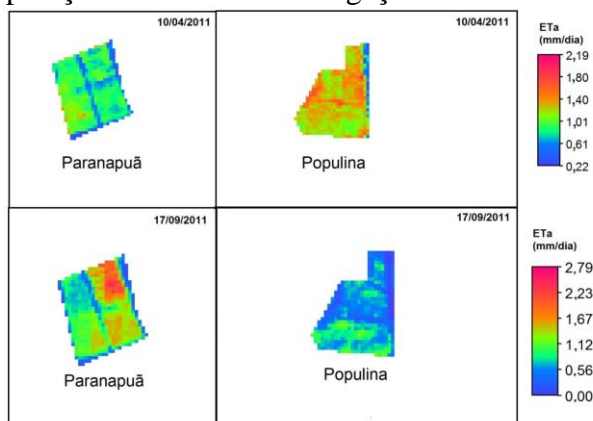


Figura 4 - Diferença de  $ET_a$  comparando com sistemas irrigados e não irrigado.

#### 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  $ET_a/ET_o$  obtidos pelo modelo SAFER, que na prática corresponderia ao coeficiente de cultura atual e sob condições de irrigação deveriam representar a condição potencial, ficaram abaixo do preconizado por Allen et al. (1998).

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.

## Referências

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Roma: **FAO Irrigation and Drainage**, Paper 56, p.297, 1998.
- BASTIAANSSEN, W. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.
- DAMIÃO, J.O.; HERNANDEZ, F.B.T.; SANTOS, G.O.; ZOCOLER, J.L. Balanço hídrico da região de ilha solteira, noroeste paulista. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Uberaba, 2010. Disponível em: [http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010\\_damiao.pdf](http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010_damiao.pdf). Acesso em: 25 mai. 2014
- HERNANDEZ, F.B.T.; NEALE, C.; TAGHVAEIAN, S. TEIXEIRA, A.H.C. 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, 2011.
- 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, 7º, Geisenheim - Alemanha, Proceedings, p.51, 2012.
- INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos. Disponível em: <http://www.inpe.br>. Acesso em: 20 abr. 2014.
- OLIVEIRA, J.B. 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, 1991.
- REUTHER, W. Climate and citrus behavior. In: REUTHER, W.(ed.) The citrus industry. Berkeley: University of California, v.3, p.280-337, cap.9, 1973.
- TEIXEIRA, A.H.C. 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, 2010.
- TEIXEIRA, A.H.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L. 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, 2012.
- TEIXEIRA, A.H.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L.; SHERER-WARREN, M.; BASSOI, L.H. Modelagem espaçotemporal dos componentes dos balanços de energia e de água no Semiárido brasileiro. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite. 2013. 32p. (Documentos, 99)