



I SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

APLICAÇÃO DE MODELO AGROMETEOROLÓGICO ESPECTRAL NO PERÍMETRO IRRIGADO DA BACIA DO SÃO FRANCISCO, UTILIZANDO IMAGENS RAPIDEYE

Janice F. Leivas^{*1}; Antonio Heriberto de C. Teixeira¹; Gustavo Bayma-Silva¹

Resumo – O objetivo do trabalho foi aplicar o modelo SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) com a finalidade de analisar os parâmetros biofísicos na área do Perímetro Irrigado de Jaíba, na Bacia do São Francisco. Foram obtidos dados meteorológicos e imagens do satélite RapidEye (resolução de 5m), referente aos dias 26 de junho de 2013 e 29 de abril de 2014. Os valores médios diários do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foram $0,29 \pm 0,16$ e $0,43 \pm 0,18$, para 2013 e 2014, respectivamente. Na imagem de 2013 foram observados valores superiores de temperatura da superfície (T_s) ($303,08 \pm 2,26$ K) aos observados em 2014 ($296,14 \pm 2,32$ K). A evapotranspiração (ET) média diária de toda a área de 2013 foi $0,43 \pm 0,96$ mm e valor máximo de 6,11. Em 2014, os valores de ET médios diários foram de $2,19 \pm 2,01$ mm. Conforme estudos anteriores, a caatinga converte a maior parte da energia disponível em calor sensível (H), enquanto as culturas irrigadas apresentam altos valores de ET. Com imagens de alta resolução espacial, sem a banda termal, foi possível obter os parâmetros biofísicos da superfície possibilitando o monitoramento em nível de pivô central e talhões de culturas irrigadas, auxiliando o uso racional da água em tempos de deficiência hídrica.

Palavras-chave – SAFER, evapotranspiração, sensoriamento remoto

*janice.leivas@embrapa.br; www.cnpm.embrapa.br

¹Embrapa Monitoramento por Satélite, (janice.leivas@embrapa.br; heriberto.teixeira@embrapa.br; gustavo.bayma@embrapa.br)

INTRODUÇÃO

O Perímetro Irrigado de Jaíba refere-se a uma grande área com agricultura irrigada, localizada nos municípios de Jaíba, Matias Cardoso e Verdelândia, no Estado de Minas Gerais, na margem direita do Rio São Francisco. Jaíba é polo de produção de frutas e está entre os maiores do país no suprimento de banana, manga, limão, tomate, entre outros. A implementação do perímetro de irrigação visou aumentar a produção e a produtividade agrícola, aumentando as oportunidades de emprego e, conseqüentemente, promovendo o desenvolvimento regional. Em 2014, os irrigantes dessa região enfrentaram prejuízos com a interrupção de novos plantios nas áreas irrigadas, devido à escassez de água.

Diante disso, o monitoramento dos parâmetros biofísicos em larga escala tem fundamental importância na tomada de decisão para o uso racional da água. Uma das grandes dificuldades do monitoramento da evapotranspiração em larga escala é a necessidade de algoritmos biofísicamente realísticos, mas que sejam simples para a sua operacionalização. O modelo agrometeorológico espectral SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) foi desenvolvido e validado com dados de experimentos de campo e imagens Landsat, envolvendo vegetação natural e culturas irrigadas nas condições semiáridas brasileiras (Teixeira 2012a). Dentre as vantagens da aplicação do modelo é a não obrigatoriedade de utilizar imagens de satélite com a banda termal, além da possibilidade de utilização de dados de estações agrometeorológicas (automáticas ou convencionais), possibilitando avaliar a série histórica de parâmetros como biomassa e evapotranspiração, em larga escala.

As imagens de satélite mais utilizadas para a modelagem hidrológica envolvem os sensores termais de média resolução espacial e baixa resolução temporal (ETM, ASTER); ou de baixa resolução espacial e alta resolução temporal (MODIS, AVHRR) (Teixeira et al., 2015). As imagens do sensor RapidEye possuem avanços consideráveis em suas especificações técnicas, principalmente em se tratando das resoluções espacial (5m), espectral e temporal. O RapidEye opera seu próprio sistema, composto por cinco satélites, capazes de coletar imagens sobre grandes áreas, com alta capacidade de revisita. Essas imagens possuem uma configuração que permite estabelecer novos padrões de eficiência relacionados à repetitividade de coleta e a exatidão das informações geradas sobre a superfície da Terra (Felix et al., 2009).

O objetivo deste estudo foi obter parâmetros biofísicos em área do perímetro irrigado de Jaíba, utilizando o modelo SAFER, sem utilizar a banda termal, visando aumento da resolução espacial e obter maior detalhamento da superfície, possibilitando monitoramento das áreas irrigadas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo deste trabalho compreende parte do município de Jaíba, localizada no norte de Minas Gerais, pertencente à Bacia do Rio São Francisco (Figura 1). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é Aw, temperatura média de 23°C e precipitação anual de 938 mm. Para a realização deste estudo foram utilizados dados da estação meteorológica automática de Jaíba e duas imagens do satélite RapidEye (*tiles* 2332020) referente aos dias 26 de junho de 2013 e 29 de abril de 2014.

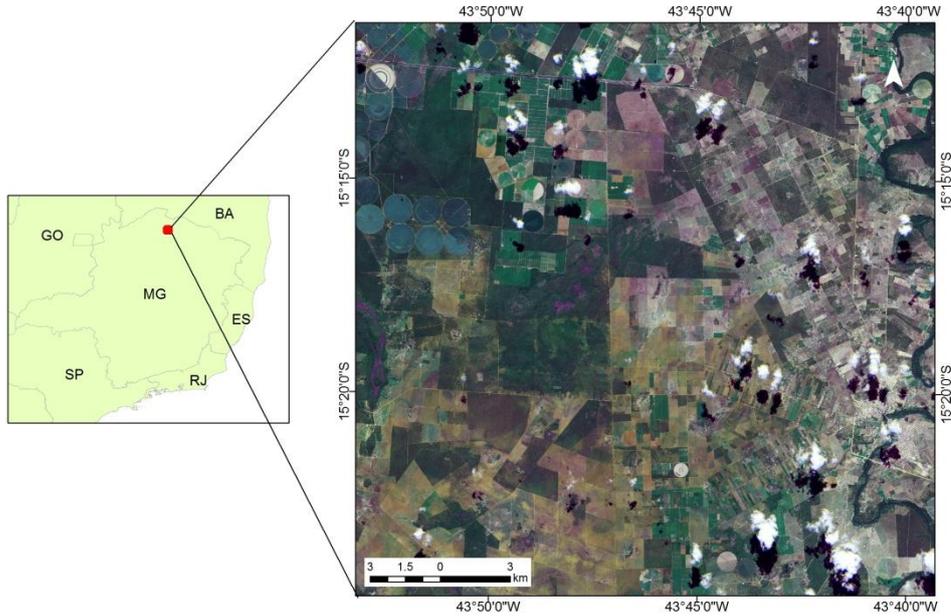


Figura 1. Localização da área de estudo

A evapotranspiração foi obtida através do modelo agrometeorológico espectral SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) (Teixeira 2012a). O SAFER envolve parâmetros obtidos por sensoriamento remoto como albedo da superfície (α_0), a temperatura da superfície (T_s) e o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), assim como dados meteorológicos para cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0). Foram utilizados dados da estação de Jaíba, pertencente à rede de estações do norte de Minas Gerais, da Embrapa Milho e Sorgo.

A partir das imagens RapidEye, foi calculado o albedo da superfície (α_0):

$$\alpha_{pband} = \frac{L_{band} \pi d^2}{R_{aband} \cos \varphi} \quad (1)$$

onde L_{band} é a radiação espectral para os comprimentos de onda de cada banda, d é distância relativa Terra-Sol; R_{aband} é a irradiância solar média no topo da atmosfera para cada banda ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$) e φ é o ângulo zenital solar.

As bandas 1 a 5 do RapidEye, foram usadas para o cômputo de α_p , sendo calculado como a média ponderada de α_{pband} de acordo com o peso de cada banda (w_{band}) (Teixeira et al., 2014a):

$$\alpha_p = \sum w_{band} \alpha_{pband} \quad (2)$$

A temperatura da superfície (T_s) foi obtida por resíduo na equação do balanço de radiação (Teixeira et al., 2004a,b):

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{R_G - \alpha_0 R_G + \epsilon_A \sigma T_a^4 - R_n}{\epsilon_s \sigma}} \quad (3)$$

onde R_G e T_a são os valores diários da radiação solar global incidente e a temperatura média do ar, respectivamente, provenientes das estações meteorológicas, R_n é o saldo de radiação diário.

As emissividades da atmosfera (ϵ_A) e da superfície (ϵ_s) foram calculadas como segue (Teixeira et al., 2014a,b):

$$\begin{aligned}\varepsilon_A &= a_A + (\ln \tau_s)^{b_A} \\ \varepsilon_S &= a_S \ln \text{NDVI} + b_S\end{aligned}\quad (4)$$

onde τ_{sw} é a transmissividade para ondas curtas, e a_A , b_A , a_S e b_S são os coeficientes de regressão (Teixeira et al., 2014a).

Os valores diários de R_n foram obtidos pela equação de Slob:

$$R_n = (1 - \alpha_0)R_G - a_L \tau_{sw} \quad (5)$$

onde a_L é um coeficiente de regressão da relação entre o saldo de radiação de ondas longas e τ_{sw} na escala diária. Este coeficiente foi especializado de acordo com os valores de T_a (Teixeira et al., 2014a,b).

O algoritmo SAFER foi usado para modelagem dos valores instantâneos da razão da ET para a evapotranspiração de referência (ET_0), a qual multiplicada pelos valores diários da ET_0 da estação meteorológica fornece a evapotranspiração (ET) em larga escala.

$$\frac{ET}{ET_0} = \left\{ \exp \left[g + h \left(\frac{T_0}{\alpha_0 \text{NDVI}} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

onde ET_0 é calculada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) e g e h são os coeficientes de regressão (Teixeira et al., 2014a,b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentados os dados meteorológicos da estação de Jaíba para as datas de aquisição das imagens RapidEye. Em 29 de abril de 2014, foram observados maiores valores de radiação solar global e maior velocidade do vento que em 26 de junho de 2013, acarretando maior evapotranspiração (4,11 mm) que em 2013. Nas áreas irrigadas, apesar do déficit hídrico ocorrido em 2014, a evapotranspiração média da área foi elevada, devendo ser decorrência da irrigação. Durante a época seca, a caatinga converte a maior parte da energia disponível em calor sensível (H), enquanto as culturas irrigadas apresentam altos valores de ET (Teixeira, 2008).

Tabela 1. Dados meteorológicos da estação meteorológica pertencente à área de estudo nas datas de aquisição das imagens de satélite: temperatura máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}), radiação solar global (Rg), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (u) e evapotranspiração (ET).

Data	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	Rg (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	UR (%)	u (m.s ⁻¹)	ET ₀ (mm)
26/06/2013	30,02	14,34	15,32	65,59	1,37	3,10
29/04/2014	26,30	12,67	22,31	61,58	2,01	4,11

Na Figura 2, observa-se que os valores médios diários do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foram $0,29 \pm 0,16$ e $0,43 \pm 0,18$, para as imagens de 26/06/2013 e 29/04/2014, respectivamente. Já o albedo médio diário não variou entre as duas cenas analisadas, ficando em torno de $0,17 \pm 0,02$, porém obtendo informações sobre os pivôs centrais e talhões de irrigação, observa-se a variação do parâmetro (tonalidades de vermelho a azul). Pode-se considerar que o NDVI responde melhor à variação das condições hídricas que o albedo, corroborando com os resultados obtidos por Teixeira et al. (2015). Na análise da temperatura da superfície (T_s), observa-se que na imagem de 2013 foram observados valores superiores aos observados na imagem de 2014, sendo $303,08 \pm 2,26$ K e $296,14 \pm 2,32$ K, respectivamente.

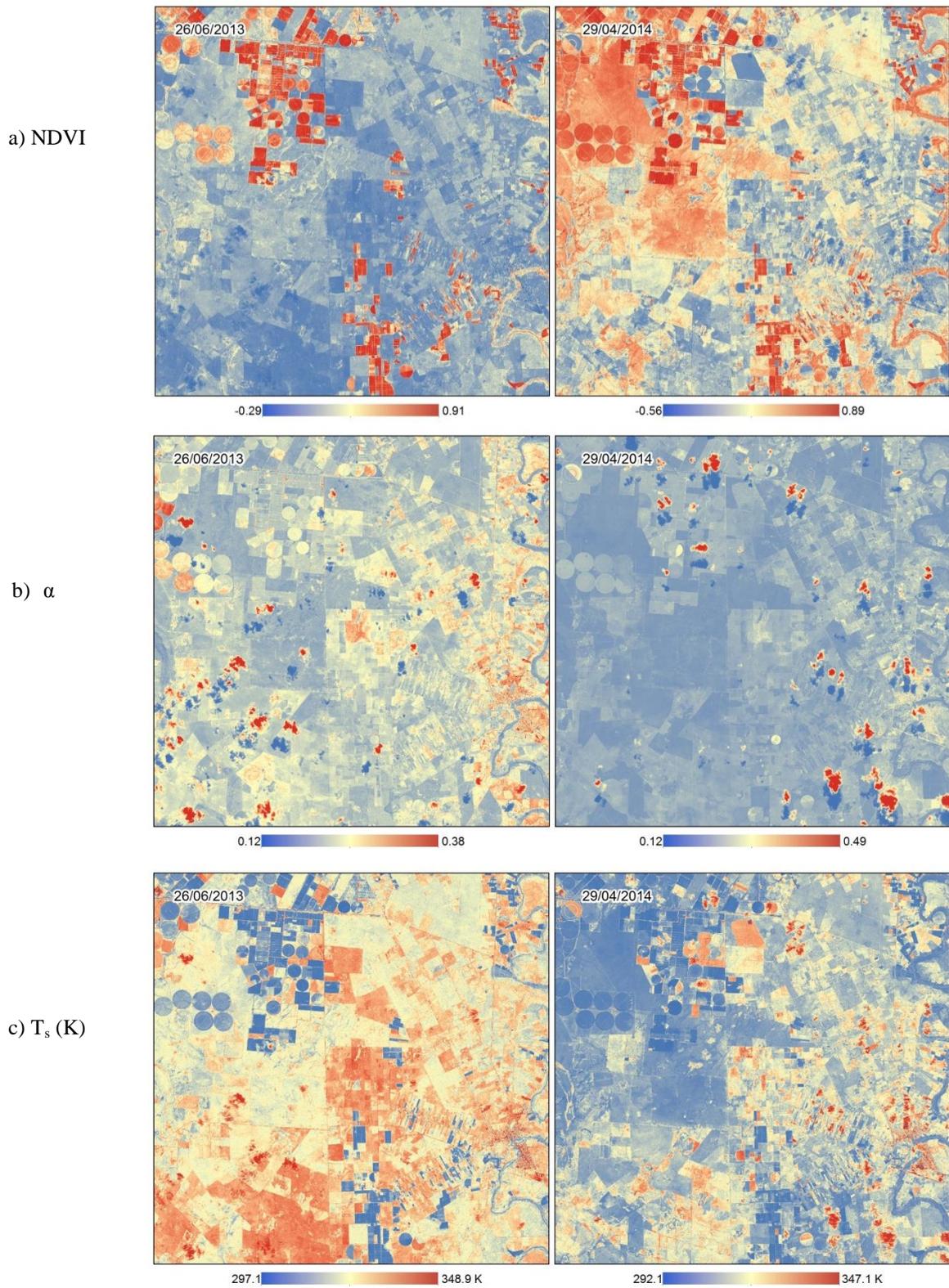


Figura 2. Distribuição espacial dos parâmetros de entrada no SAFER, com imagens RapidEye, (a) NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), (b) albedo da superfície; (c) temperatura da superfície (T_s).

Tabela 2. Estatísticas dos parâmetros biofísicos obtidos via sensoriamento remoto com imagens RapidEye como NDVI, albedo, temperatura da superfície (T_s) e evapotranspiração (ET).

Parâmetros	26/06/2013			29/04/2014		
	min	max	$\mu \pm \sigma$	min	max	$\mu \pm \sigma$
NDVI	-0,70	1,00	0,29 \pm 0,16	-0,56	0,92	0,43 \pm 0,18
Albedo	0,12	0,50	0,17 \pm 0,02	0,12	0,56	0,17 \pm 0,02
Tsup (K)	296,89	353,07	303,08 \pm 2,26	292,17	354,59	296,14 \pm 2,32
ET (mm)	0	6,11	0,43 \pm 0,96	0	8,22	2,19 \pm 2,01

A evapotranspiração média diária de toda a cena de 2013 foi 0,43 \pm 0,96 mm e valor máximo de 6,11. Na imagem de 2014, os valores máximos de ET alcançaram 8,22 mm e valores médios diários foram de 2,19 \pm 2,01mm (Tabela 2). Em 2014, devido à maior demanda evaporativa da atmosfera, a ET alcançou valores superiores aos observados na cena de 2013. Isso pode ser devido à ocorrência do fenômeno El Niño que acarreta diminuição na precipitação na região. Analisando os dados meteorológicos da estação de Jaíba, observa-se que precipitação ficou abaixo da normal climatológica (64 mm), não sendo registrada ocorrência de chuvas na região. Em 2014, os irrigantes dessa região enfrentaram prejuízos com a interrupção de novos plantios nas áreas irrigadas, devido à escassez de água.

Nas áreas de vegetação natural (caatinga), foram observados os menores valores de ET contrastando com as áreas irrigadas, com ET superiores a 5 mm (Figura 3). Isto se deve ao fato de que a energia disponível no sistema é utilizada para aquecimento do ar, enquanto que nas áreas irrigadas essa energia é dispendida para o processo evapotranspiratório. Durante a época seca, a caatinga converte a maior parte da energia disponível em calor sensível (H), enquanto as culturas irrigadas apresentam altos valores de ET (Teixeira, 2008).

Os resultados deste estudo corroboram com os obtidos por Teixeira et al. (2015) que obtiveram taxas de evapotranspiração de 67% da obtida com satélite Landsat e aproximadamente 46% do resultado obtido com imagens MODIS. Com isso, há a possibilidade da utilização de imagens de alta resolução espacial e temporal no manejo dos recursos hídricos.

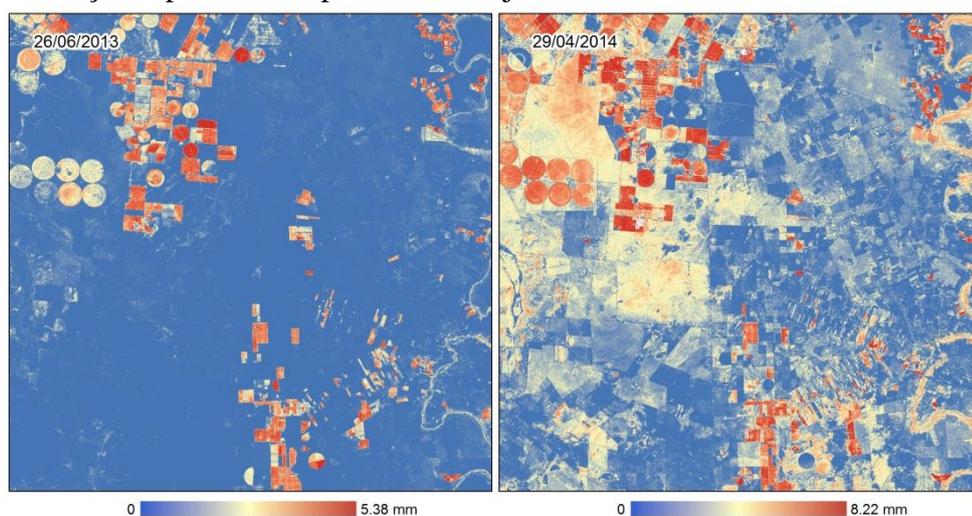


Figura 3. Distribuição espacial dos valores de ET obtidos através do modelo SAFER, utilizando imagens RapidEye, em Jaíba.

A partir dos resultados obtidos foi possível avaliar os indicadores biofísicos em áreas com irrigação e vegetação natural, com a vantagem de não ser necessário utilizar a banda termal. Recomenda-se analisar uma série temporal de imagens de satélite juntamente com dados meteorológicos históricos, possibilitando o monitoramento da Bacia do São Francisco, contribuindo para o gerenciamento culturas irrigadas, diante da escassez dos recursos hídricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos foi possível avaliar os indicadores biofísicos em áreas com irrigação e vegetação natural, com a vantagem de não ser necessário utilizar a banda termal. Recomenda-se analisar uma série temporal de imagens de satélite juntamente com dados meteorológicos históricos, possibilitando o monitoramento da Bacia do São Francisco, contribuindo para o gerenciamento culturas irrigadas, diante da escassez dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, Rome, Italy, 300 pp, 1998.

FELIX, I. M.; KAZMIERCZAK, M. L.; ESPINDOLA, G. M. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. *In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Abr. 2009, INPE, pp. 7619-7622.

TEIXEIRA, A.H. de C. *Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region*; LAP Lambert Academic Publishing: Saarbrücken, Germany, 226p., 2009.

TEIXEIRA, A. H. DE C.; HERNANDEZ, F.B.T.; ANDRADE, R.G. ; LEIVAS, J.F. ; BOLFE, E. L. Energy balance with Landsat images in irrigated central pivots with corn crop in the São Paulo State, Brazil. *Proceedings of SPIE - International Society for Optical Engineering*, v. 9239, p. 923900-1-923900-10, 2014a.

TEIXEIRA, A. H. DE C.; VICTORIA, D. DE C.; AANDRADE, R.G. ; LEIVAS, J.F. ; BOLFE, E.L. ; CRUZ, C.R. Coupling MODIS images and agrometeorological data for agricultural water productivity analyses in the Mato Grosso state, Brazil. *Proceedings of SPIE - International Society for Optical Engineering*, v. 9239, p. 92390W-1- 92390W-14, 2014b.

TEIXEIRA, A.H. DE C. BASTIAANSSEN, W.G.M., AHMAD, M.D., MOURA, M.S.B., BOS, M.G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 362, p. 110-127, 2008b.