

# Uso do satélite Landsat 8 na determinação da produtividade da água em bacia hidrográfica com predomínio do uso agrícola da cana-de-açúcar

Fernando Braz Tangerino Hernandez<sup>1</sup>  
Renato Alberto Momesso Franco<sup>1</sup>  
Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista – UNESP  
Caixa Postal 34 – 15385-000 – Ilha Solteira – SP, Brasil  
fbhtang@agr.feis.unesp.br  
bioramfranco@yahoo.com.br

<sup>2</sup> EMBRAPA - Monitoramento por Satélite  
Caixa Postal 515 – 12245-970 – Campinas - SP, Brasil  
heriberto.teixeira@embrapa.br

**Abstract.** Understanding temporal and spatial variability of the parameters of water productivity in plantations of sugar cane became a very important issue in the context of water use and climate change. The objective of the research is to analyze the spatial-temporal parameters of the water of productivity in the watershed occupied by the culture of sugar cane through the incorporation of agro-meteorological data and remote sensing. The algorithm used to calculate evapotranspiration was SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving) and the Monteith equation to estimate the parameters of biomass production (BIO). Monteith's equation is used to quantify the absorbed photosynthetically active radiation (APAR) and Actual Evapotranspiration (ET) was estimated with the SAFER algorithm. Spatial variation of the BIO for sugarcane was 20.17 to 103.0 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. The highest values of ET occurred in the rainy season. The culture of sugarcane has reached maximum value of water productivity of 5.03 kg m<sup>-3</sup>, 5.21 kg m<sup>-3</sup> and 5.37 kg m<sup>-3</sup> for the months of January, March and April, respectively.

**Keywords:** evapotranspiration, biomass, Water productivity evapotranspiração, biomassa, produtividade da água

## 1. Introdução

As disponibilidades de informações ambientais sobre as condições agrícolas são importantes para vários setores envolvidos com o agronegócio e com o gerenciamento ambiental. Uma ferramenta útil para a obtenção dessas informações é o emprego de técnicas de sensoriamento remoto via satélite e aplicações de modelos de balanço de energia em conjunto com informações agrometeorológicas que possibilitam o mapeamento dos parâmetros biofísicos dos agroecossistemas com acurácia satisfatória.

A cana de açúcar é um dos cultivos de maior importância econômica no Brasil e nos últimos anos o noroeste paulista tem como destaque essa cultura devido ao surgimento de usinas produtoras de etanol e açúcar. A ocupação da cana-de-açúcar modificou a paisagem regional, substituindo as áreas anteriormente ocupadas por pastagens e culturas anuais. No município de Pereira Barreto o total cultivado para o ano de 2013 foi de 28884 ha, a área disponível para a colheita neste período foi de 21409 ha, sendo 4298 ha em situação de reforma para tratos culturais. A mudança no uso e ocupação do solo, com a substituição da pastagem pela cana-de-açúcar ocorreu a partir do ano de 2007 com área disponível para a colheita no município acima de 7500 ha (RUDORFF et al., 2010).

Entender a variabilidade temporal e espacial dos parâmetros de produtividade da água em plantações de cana de açúcar tornou-se um assunto bastante importante no contexto de uso da água e das mudanças climáticas regionais e globais. Entretanto, a base do conhecimento

disponível na literatura indica que a cana-de-açúcar apresenta uma resposta positiva em relação aos cenários de mudanças climáticas mais prováveis para o Brasil tanto pela resposta direta da fotossíntese à elevação na concentração do dióxido de carbono quanto ao aumento da eficiência de uso da água (MARIN; NASSIF, 2013).

A produtividade de água em larga escala obtidos via satélite é uma ferramenta relevante para apoiar o planejamento de políticas agrícolas e tomada de decisão sobre o uso de recursos naturais (TEIXEIRA et al., 2013a, 2013c). A produção de biomassa (BIO) e a taxa de evapotranspiração (ET) permitem avaliar a produtividade da água nos sistemas agrícolas e ambientais (TEIXEIRA et al., 2009).

A BIO está relacionada com a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e que é parte da radiação solar de ondas curtas absorvidas pela clorofila no processo fotossintético. A energia da RFA utiliza somente 40% a 50% da energia total da radiação solar. A BIO é uma medida para avaliar a capacidade de produzir matéria seca de uma determinada espécie de vegetal pelo processo fotossintético que converte a energia solar em biomassa e sua estimativa está baseada na radiação solar global incidente ( $RS_{\downarrow}$ ). O modelo foi desenvolvido por Monteith (1972) e fundamenta-se no conceito do uso eficiente da luz (*Use Efficiency*) e a sua aplicação foi consolidada por Bastiaanssen e Ali (2003) e esse método associado com os parâmetros obtidos por satélite é aceitável e no Brasil foi aplicado na bacia hidrográfica do Rio São Francisco com resultados satisfatórios (TEIXEIRA et al., 2009).

A produtividade da água (PA) quantifica o valor obtido de cada unidade de volume de água utilizado na produção de um determinado produto. Os mesmos autores ressaltam que considerando a vegetação, a PA pode ser a BIO pela água consumida pela superfície vegetada, incluindo a água originada da precipitação, da irrigação, do escoamento e das variações da umidade do solo (MOLDEN et al., 2007).

A PA é dependente da evapotranspiração e sua quantificação é determinada através do algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Retrieving Evapotranspiration*) que possibilita estimar a ET por meio da equação Penman-Monteith em conjunto com dados de parâmetros biofísicos gerados através do uso de sensoriamento remoto (TEIXEIRA, 2010).

O estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial e temporal dos parâmetros da produtividade da água em microbacia ocupada pela cultura da cana de açúcar por meio da incorporação de dados agrometeorológicos e sensoriamento remoto, visando fornecer informações que permitem estabelecer relações de causa e efeito entre a produção de fitomassa dos agroecossistemas e as condições meteorológicas regionais para subsidiar o planejamento agrícola.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Área de estudo e dados meteorológicos**

A área de estudo localiza-se na região noroeste paulista, no município de Pereira Barreto e pertencente a bacia hidrográfica do baixo Tietê. A microbacia possui uma área total de 3725,73 ha, sendo 2567,93 ha pertencente ao uso agrícola cana-de-açúcar, ocupando 68,92% da área. A pastagem representa 11,67% da área da microbacia e o fragmento de mata com apenas 3,56%.

Utilizaram-se dados de Temperatura média,  $RS_{\downarrow}$  medido por piranômetro e evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) de seis estações agrometeorológicas distribuídas na região conforme Figura 1 (UNESP, 2014). Em seguida os dados meteorológicos foram interpolados formando um plano no formato *raster* e que foi inserido em conjunto com os parâmetros de sensoriamento remoto.

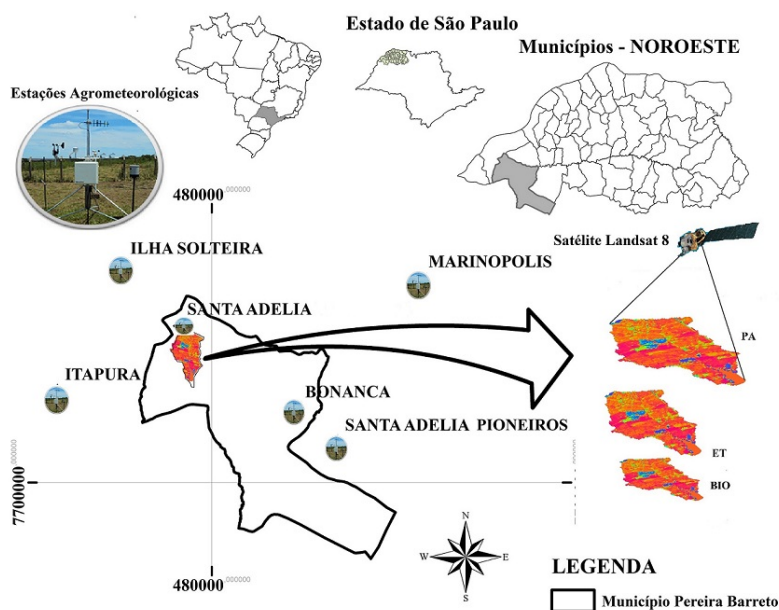


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo e distribuição da rede de estações agrometeorológica no noroeste paulista em conjunto com dados de sensoriamento remoto.

## 2.2. Obtenção via sensoriamento remoto dos componentes de balanço de energia e da água

Os parâmetros de sensoriamento remoto foram obtidos primeiramente a partir das imagens do satélite Landsat 8, dos sensores OLI (*Operation Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). O sensor OLI fornece as bandas multiespectrais, sendo as bandas 1 a 7 e 9 com resolução espacial de 30 metros e a banda 8 (pancromática), com 15 metros de resolução espacial. As bandas 10 e 11 são obtidas através do sensor TIRS e com resolução espacial de 100 metros, entretanto essas bandas podem ser reamostradas para 30 metros de resolução espacial.

As imagens para o estudo foram adquiridas no site da *U.S. Geological Survey* (USGS, 2014) referente ao ponto 222 e órbita 74 das datas e dias julianos (DJ): 01/06/2013 (151); 04/07/2013 (185); 05/08/2013 (217); 21/08/2013 (233); 06/09/2013 (252); 09/11/2013 (313); 27/12/2013 (361); 28/01/2014 (28); 17/03/2014 (76); 02/04/2014 (92); 04/05/2014 (124) e 21/06/2014 (172).

As imagens do Landsat 8 estão em formato de números digitais (ND), cujos os valores variam de 0 a 65535, com uma resolução radiométrica de 16 bits. Os ND são convertidos em radiância espectral para cada banda  $L_b$  ( $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ) e os coeficientes de calibração mínimos e máximos de radiância espectral foram obtidos nos arquivos de dados (*MTL file*) que acompanham as imagens (USGS, 2014).

As etapas da modelagem dos componentes dos balanços de energia e água adotou-se a metodologia desenvolvida por Teixeira et al. (2013a) que possibilitaram-se a obtenção dos seguintes parâmetros biofísicos: a reflectância monocromática de cada banda ( $\rho\lambda$ ); albedo planetário  $\alpha_b$ ; albedo de superfície ( $\alpha_0$ ); componentes de energia (saldo de radiação ( $R_n$ ), fluxo de calor latente ( $\lambda E$ ), o fluxo de calor sensível ( $H$ ) e o fluxo de calor no solo ( $G$ )); temperatura de brilho ( $T_{b10,11}$ ) das bandas 10 e 11; Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI; as radiações ( $RS \downarrow$ ), radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre ( $RL \uparrow$ ) e a radiação de onda longa emitida pela atmosfera ( $RL \downarrow$ ).

O  $R_n$  na escala diária foi obtido pelo saldo diário (24hs) de radiação de onda curta, por meio da equação de Slob (TEIXEIRA et al., 2013a):

$$R_n = (1 - \alpha_0)RS \downarrow - a_1\tau_s \quad (1)$$

onde  $a_1$  é um coeficiente de regressão da relação entre o saldo de radiação de ondas longas e a transmissividade atmosférica de ondas curtas  $\tau_s$  na escala diária (TEIXEIRA et al., 2008). O coeficiente  $a_1$  foi determinado conforme a Equação abaixo:

$$a_1 = bT_a - c \quad (2)$$

em que:  $b$  e  $c$  correspondem aos valores de 7,0 e 39,9, respectivamente (TEIXEIRA et al., 2008).

Para a obtenção da evapotranspiração atual ( $ET$ ) aplicou-se o algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) (TEIXEIRA, 2010), o modelo é baseado na razão  $ET/ET_0$  e necessita dos parâmetros de NDVI,  $\alpha_0$ ,  $T_0$ :

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[ a + b \left( \frac{T_0}{\alpha_{0NDVI}} \right) \right] \quad (3)$$

em que:  $a$  e  $b$  são coeficientes de regressão, com valores de 1,00 (TEIXEIRA et al., 2014a) e -0,08 (TEIXEIRA, 2010), respectivamente.

Os valores diários de  $RS \downarrow$  foram utilizados para estimativa da radiação fotossinteticamente ativa ( $PAR$ ) em larga escala:

$$PAR = aRS \downarrow \quad (4)$$

onde  $a=0,44$  é o coeficiente de regressão determinado por Teixeira et al. (2009). Em seguida obteve-se a radiação fotossinteticamente ativa ( $APAR$ ) através da estimativa da  $PAR$ :

$$APAR = fPAR \quad (5)$$

onde  $f$  foi obtido do NDVI conforme Equação 18:

$$f = aNDVI + b \quad (6)$$

em que os coeficientes de regressão  $a$  e  $b$  correspondem aos valores 1,257 e -0,161, respectivamente, conforme Bastiaanssen e Ali (2003).

A BIO foi estimada conforme Equação 19:

$$BIO = \varepsilon_{max} E_f APAR \cdot 0,864 \quad (7)$$

onde  $E_f$  correspondem a fração evaporativa que é obtida através da razão entre  $\lambda E/R_n$ ;  $\varepsilon_{max}$  é a eficiência de uso da luz máxima qual foi considerada 2,5 g  $MJ^{-1}$  pela maioria das espécies sendo C4 na região de estudo; e 0,864 é um fator de conversão (TEIXEIRA et al., 2013a).

A produtividade da água foi estimada através da equação abaixo (TEIXEIRA et al., 2009):

$$PA = \frac{BIO}{ET} \quad (8)$$

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Dados agrometeorológicos

A Figura 2 (a) a precipitação acumulada e  $ET_0$  acumulada entre os DJ para cada imagem avaliada. Na Figura 2 (b) a média mensal de  $RS \downarrow$  da estação agrometeorológica Santa Adélia, com localização próxima a área de estudo (ver Figura 1).

As maiores taxas de  $ET_0$  acumuladas ocorreram nos DJ 313/13, 361/13, 76/14 e observa-se a superioridade em relação a precipitação acumulada para todo o período avaliado.

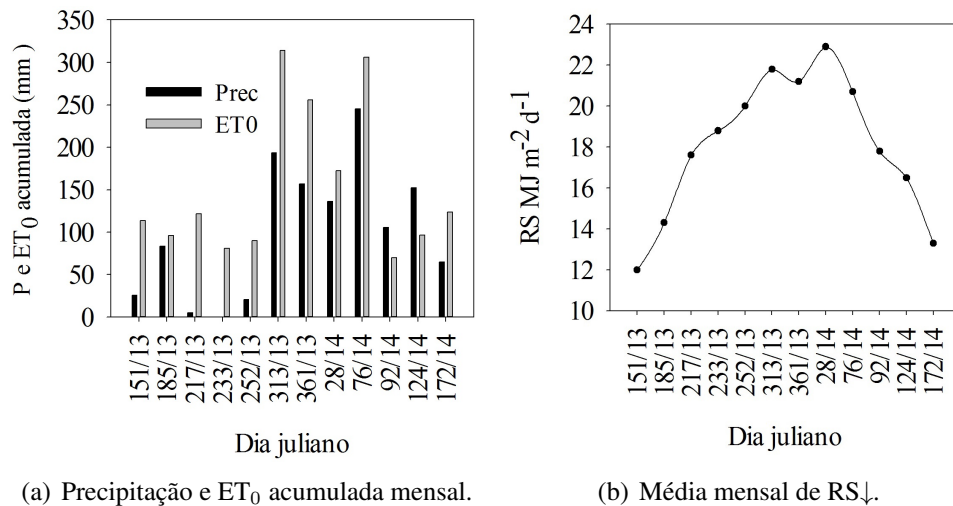


Figura 2: Dados agrometeorológicos do ano de 2013 e 2014, município de Pereira Barreto-SP.

### 3.2. Indicadores agroecológicos obtidos por sensoriamento remoto

Na microbacia observa-se a variabilidade espacial nos valores de NDVI, principalmente nos usos identificados como cana-de-açúcar colhida (resto de palhada), fase de rebrota e/ou em preparo do solo. Nestas condições, os menores valores médios ocorreram a partir dos DJ 217 (ago/13), 233 (ago/13) e 252 (set/13). Por outro lado, o índice de vegetação NDVI é influenciado pelas condições de precipitação (P) e os maiores valores médios de NDVI da cana-de-açúcar ocorrem em janeiro (DJ:28), março (DJ:76) e abril (DJ:92) (Figura 2). Na mesma região de estudo Franco et al. (2013) encontraram valor médio de 0,44 no mês de novembro de 2011 e na porção nordeste do Estado de São Paulo, Teixeira et al. (2014b) encontram valores elevados de NDVI no período chuvoso (Janeiro e Abril de 2012) e os baixos valores foram identificados no mês de agosto do mesmo ano.

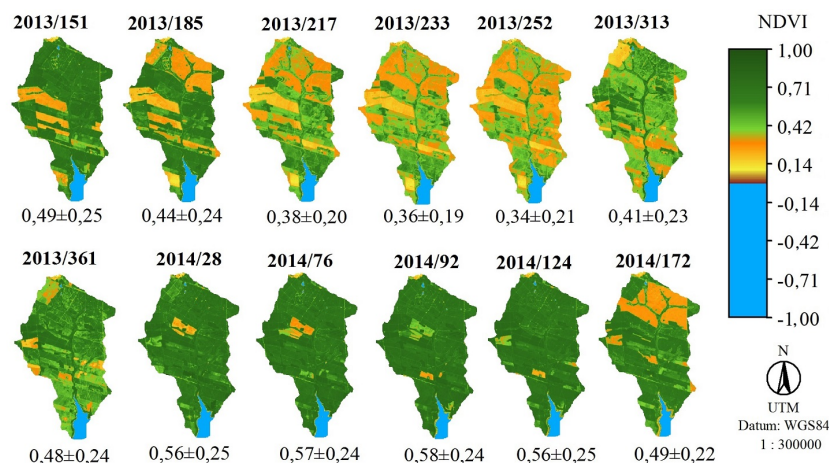


Figura 3: Valores médios de NDVI e desvio padrão (DP) para cada DJ e ano.

Na Figura 3 a variação espacial dos valores de BIO com os valores médios e DP para cada ano e DJ na microbacia, com redução nos valores médios nos meses de agosto e setembro, considerado o período seco na região e elevados valores no período chuvoso, confirmando a dependência da BIO com a precipitação acumulada entre as datas de passagem do satélite (TEIXEIRA et al., 2013c).

Em relação a precipitação acumulada para o período avaliado observa-se valores elevados no mês de julho de 2013 (DJ:185) e a redução nos valores nos meses seco e novamente o aumento dos valores de BIO nos meses de dezembro (2013/DJ:361), janeiro (DJ:28), março (DJ:76), abril (DJ:92), maio (DJ:124) e junho (DJ:172).

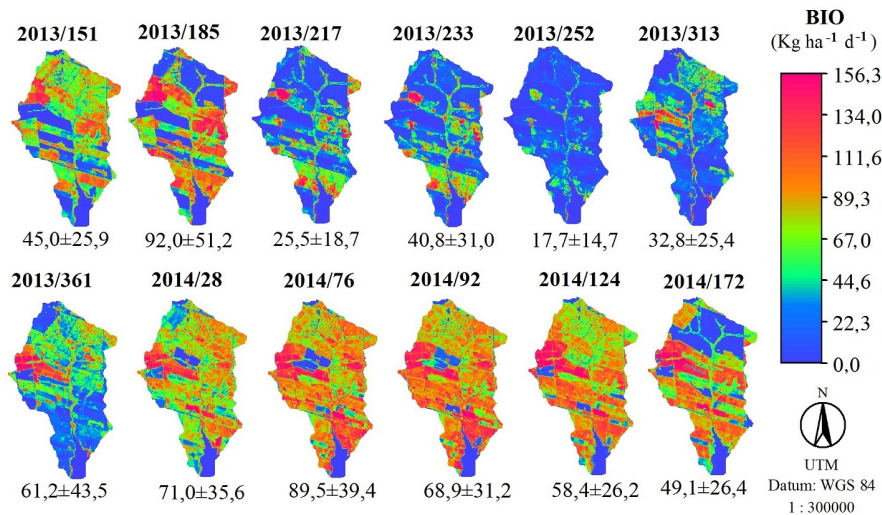


Figura 4: Valores médios de BIO e desvio padrão (DP) para cada DJ e ano.

A variação espacial da BIO na área de cana-de-açúcar é alta com valores entre 20,17 a 103,0 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, devido ao manejo da cultura com período de colheita e preparo do solo e condições meteorológicas, sendo os maiores valores no período chuvoso. Em 2010, na mesma região Franco, Hernandez e Teixeira (2014) encontraram valor médio de 46,9 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> para a cana-de-açúcar no mês de junho.

Na região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), Teixeira et al. (2013c) encontraram valores elevados de ET no período chuvoso (Fevereiro a Abril) e redução nos valores no período seco (Agosto a Outubro).

Na Figura 5 a distribuição dos valores de ET na microbacia e as maiores taxas de ET ocorreram no período chuvoso e no período seco houve redução nos valores. O menor valor foi no DJ 217 (Agosto) com média de 0,62 mm d<sup>-1</sup> e o maior valor de ET ocorreu no DJ 76 (Março), com média de 1,82 mm d<sup>-1</sup>. Na região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), Teixeira et al. (2013c) encontraram valores elevados de ET no período chuvoso (Fevereiro a Abril) e redução nos valores no período seco (Agosto a Outubro).

O uso cana-de-açúcar em junho (DJ:151) apresentou o valor máximo de 1,73 mm d<sup>-1</sup>, média de 0,87 mm d<sup>-1</sup> e DP de 0,87 mm d<sup>-1</sup>, sendo o maior DP do período avaliado. Na mesma data o uso fragmento de mata apresentou o valor médio de 0,80 mm d<sup>-1</sup> (DP: ±0,80) e máximo de 1,48 mm d<sup>-1</sup>. No mês de agosto (DJ: 217 e 233) o uso cana-de-açúcar apresentaram valores de ET médios de 0,86 mm d<sup>-1</sup> (DP:0,50 mm d<sup>-1</sup>) e no mês de setembro (DJ:252) o valor médio foi de 0,93 mm d<sup>-1</sup> (DP:0,50 mm d<sup>-1</sup>) e máximo de 2,11 mm d<sup>-1</sup>. Em Março de 2014 (DJ:76) o valor médio foi de 1,77 mm d<sup>-1</sup> (DP:1,0 mm d<sup>-1</sup>) e máximo de 3,76 mm d<sup>-1</sup>.

O maior média de PA ocorreu em junho de 2013 (DJ: 151) com valor de 3,88 kg m<sup>-3</sup> (DP: ± 1,39 kg m<sup>-3</sup>) e menor média foi no mês de setembro de 2013 com valor de 2,21 kg m<sup>-3</sup> (DP: ± 0,89 kg m<sup>-3</sup>).

No período chuvoso na região, os meses de janeiro, março e abril os valores médios de PA para a cana-de-açúcar foram de 3,17 kg m<sup>-3</sup> (DP: ±1,1 kg m<sup>-3</sup>), 2,90 kg m<sup>-3</sup> (±1,3 kg m<sup>-3</sup>) e 3,12 (±1,3 kg m<sup>-3</sup>), respectivamente. Esta condição de precipitação e umidade no solo neste

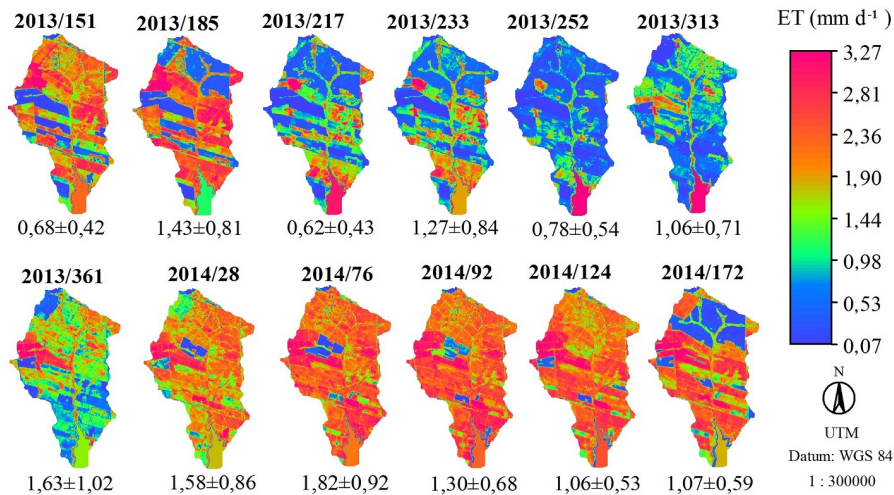


Figura 5: Distribuição espacial dos valores médios e DP de ET para cada ano/DJ.

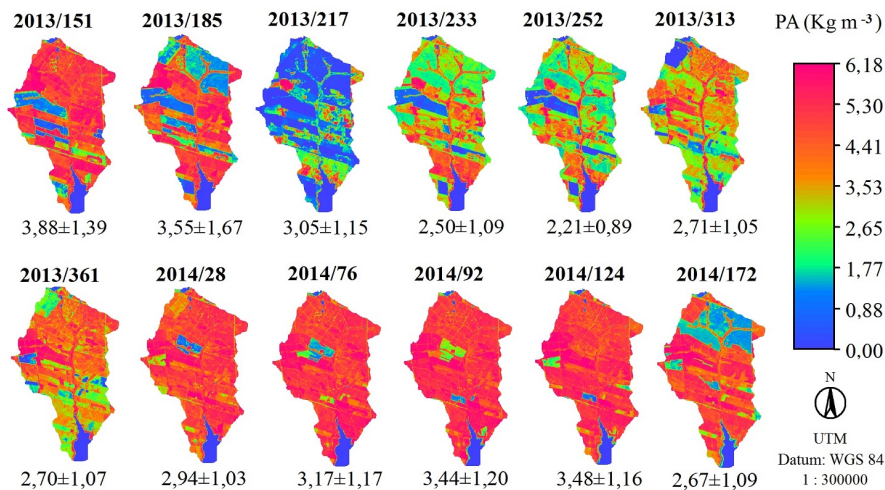


Figura 6: Distribuição espacial dos valores médios e DP de PA para cada ano/DJ.

período favoreceu o aumento nos valores de PA, como foi observado por Teixeira et al. (2013c) para as condições do semiárido nordestino.

A cultura da cana-de-açúcar atingiu máximos valores de PA em condições de precipitação acumulada entre as datas avaliadas, com valores de 5,03 kg m<sup>-3</sup>, 5,21 kg m<sup>-3</sup> e 5,37 kg m<sup>-3</sup> para os meses de janeiro, março e abril, respectivamente. O máximo valor foi de 5,03 kg m<sup>-3</sup> no mês de janeiro, março com 5,21 kg m<sup>-3</sup>, 5,37 kg m<sup>-3</sup> no mês de abril e maio com 5,44 kg m<sup>-3</sup>.

#### 4. Conclusão

O manejo da cultura da cana-de-açúcar influenciaram na distribuição espacial dos parâmetros de produtividade da água na microbacia avaliada.

Os maiores valores de produtividade da água ocorreram no período chuvoso e os menores valores ocorreram no período seco.

Os modelos SAFER e Monteith quando aplicados permitiram identificar a variação espacial e temporal das condições hidrológicas dos agroecossistemas.

## Referências

- BASTIAANSEN, W.; ALI, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 94, p. 32–340, 2003.
- FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C. Water productivity of different land uses in watersheds assessed from satellite imagery Landsat 5 Thematic Mapper. In: NEALE, C. M. U.; MALTESE, A. (Ed.). *Proc. of SPIE*. Bellingham, WA USA: SPIE, 2014. v. 9239, p. 92392E–1–92392E–7. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1117/12.2067459>>.
- FRANCO, R. A. M. et al. Avaliação do balanço de energia em diferentes tipos de uso e cobertura da terra na região noroeste do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO (SBSR). *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2013. p. 6909–6916.
- MARIN, F.; NASSIF, D. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 2, p. 232 – 239, 2013.
- MOLDEN, D. et al. Agricultural water productivity and savings: policy lessons from two diverse sites in China. *Water Policy*, n. 9, p. 29–44, 2007.
- MONTEITH, J. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, n. 9, p. 747–766, 1972.
- RUDORFF, B. F. T. et al. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. *Remote Sensing*, v. 2, n. 4, p. 1057 – 1076, 2010.
- TEIXEIRA, A. C. et al. Large-scale water productivity assessments with modis imagens in changing semi-arid environment: A Brazilian case study. *Remote Sensing*, v. 5, n. 11, p. 5783 – 5804, November 2013c.
- 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. C. et al. Sugar cane energy and water balances by remote sensing in the São Paulo, Brazil. In: INSTITUTO DE PESQUISA E INOVAÇÃO NA AGRICULTURA IRRIGADA. *Anais...* Fortaleza: INOVAGRI, 2014b. p. 749–759.
- TEIXEIRA, A. H. C. et al. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 362, p. 110–127, 2008.
- TEIXEIRA, A. H. C. et al. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 149, p. 462–476, 2009.
- TEIXEIRA, A. H. C. et al. *Modelagem espaçotemporal dos componentes dos balanços de energia e de água no Semiárido Brasileiro*. 1. ed. Campinas–SP, 2013a.
- TEIXEIRA, A. H. C. et al. A Comparative Study of Techniques for Modeling the Spatiotemporal Distribution of Heat and Moisture Fluxes in Different Agroecosystems in Brazil. In: PETROPOULOS, G. G. (Ed.). *Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content*. 1. ed. Boca Raton, Florida: CRC Group, Taylor and Francis, 2014a. v. 1, cap. 6, p. 169–191.
- UNESP. *Acesso à base diária: Santa Adélia – Pereira Barreto, SP*. Ilha Solteira – SP, julho 2014. Disponível em: <[clima.feis.unesp.br](http://clima.feis.unesp.br)>.
- USGS. *USGS Global Visualization Viewer–Landsat 8*. [S.l.], september 2014. Disponível em: <<http://glovis.usgs.gov/>>.