

## MAPEAMENTO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

**Pedro Luiz Esteque**

Graduação em Agronomia,  
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Adilson Gomes da Silva**

Graduação em Agronomia,  
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Débora Cristiane Nogueira**

Doutora em Agronomia – UNESP;  
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

**Renato Alberto Momesso Franco**

Doutor em Agronomia – UNESP; Pós-Doutorado em Agronomia – UNESP;  
Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

### RESUMO

Aplicações de sensoriamento remoto associado a dados meteorológicos permitem a obtenção da estimativa da biomassa (BIO) em diferentes condições espacial e temporal. A estimativa da BIO é obtida por meio da radiação solar global incidente (RG) e o modelo aceito é o de Monteith e está baseado no conceito de uso eficiência da luz. Para a obtenção da evapotranspiração atual adotou-se o modelo *Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving* (SAFER) em conjunto com dados meteorológicos e climatológicos. Utilizaram-se imagens de satélite Landsat 5 e 8 em diferentes datas de passagem. Os valores obtidos de BIO para a bacia hidrográfica foram elevados no período chuvoso e baixos valores no período seco. Os modelos aplicados foram viáveis no estudo da determinação da BIO.

**PALAVRAS-CHAVE:** Produção de Biomassa; Sensoriamento remoto; SAFER; Monteith

e-mail: bioramfranco@yahoo.com.br

### 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população humana as demandas por recursos ambientais intensificaram, principalmente o uso da água e o que gerou uma diversificação dos usos múltiplos dos recursos hídricos. Essa diversificação depende do grau de concentração da população humana, do estágio de desenvolvimento econômico regional e da intensidade das atividades nas bacias hidrográficas (TUNDISI E TUNDISI, 2011). Aproximadamente 90% dos recursos hídricos do Brasil são utilizados para a produção agrícola, produção industrial e consumo humano (TUCCI, 2000).

As bacias hidrográficas em diferentes regiões do Brasil são ocupadas por diferentes tipos de uso do solo que podem apresentar impactos ambientais conforme o tipo de exploração dos agroecossistemas. Conhecer as características do uso do solo é importante para a gestão dos recursos hídricos e atualmente existem ferramentas geotecnológicas para a análise espacial e temporal destes ambientes.

As tecnologias de sensoriamento remoto utilizando sensores orbitais acoplados em satélites permitem a análise em escala de bacias hidrográficas. Os registros das informações terrestres possibilitam a identificação das características espectrais dos alvos (solos, água, vegetação nativa, agricultura e etc).

A agricultura é dependente da radiação solar incidente e utiliza essa fonte de energia para a produção de alimentos, fibras e óleos. A produção de biomassa (BIO) está associada a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e que é parte da radiação eletromagnética de ondas curtas (400 a 700 nm). Sendo uma faixa estreita do espectro eletromagnético que é absorvida pelos vegetais e corresponde 45% da radiação que chega na superfície do vegetal. Nesta condição, os vegetais absorvem a radiação através do processo de fotossíntese e produzem biomassa.

A estimativa da BIO é obtida por meio da radiação solar global incidente (RG) e o modelo aceito é o de Monteith e está baseado no conceito de uso eficiência da luz (*Use Efficiency*) (MONTEITH, 1972; MONTEITH, 1977; KUMAR E MONTEITH, 1981; PRINCE, 1990) e esta aplicação foi utilizada por Bastiaanssen e Ali (2003) que determinaram a BIO através do uso de sensoriamento remoto.

No Brasil, esse método foi satisfatório na bacia hidrográfica do Rio São Francisco (TEIXEIRA et al., 2009 a,b) e na região noroeste paulista os resultados foram satisfatórios para a determinação da biomassa utilizando técnicas de sensoriamento remoto e rede de estações meteorológicas (FRANCO et al., 2014).

O satélite Landsat 5, como o sensor *Thematic Mapper* que apresenta sete bandas espectrais, com resolução espacial de 30 metros e a banda 6 é a termal que apresenta resolução espacial de 120 metros. O Landsat 8 (*Landsat Data Continuity Mission*) com os sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) apresentam nove bandas multiespectrais e duas bandas termais.

A agricultura de precisão utiliza os sensores do satélite Landsat como ferramentas para a determinação do comportamento espectral da vegetação e que pode trazer informações sobre a variação espacial e temporal da produção de

biomassa das culturas agrícolas em diferentes condições climáticas ao longo dos anos.

## 2 OBJETIVO

O estudo tem como objetivo a estimativa da produção de biomassa em bacia hidrográfica utilizando técnicas de sensoriamento remoto em conjunto com dados de estações meteorológicas em diferentes condições de variação espacial e temporal. Provendo informações sobre a vegetação e a produção de informações para a gestão dos recursos naturais.

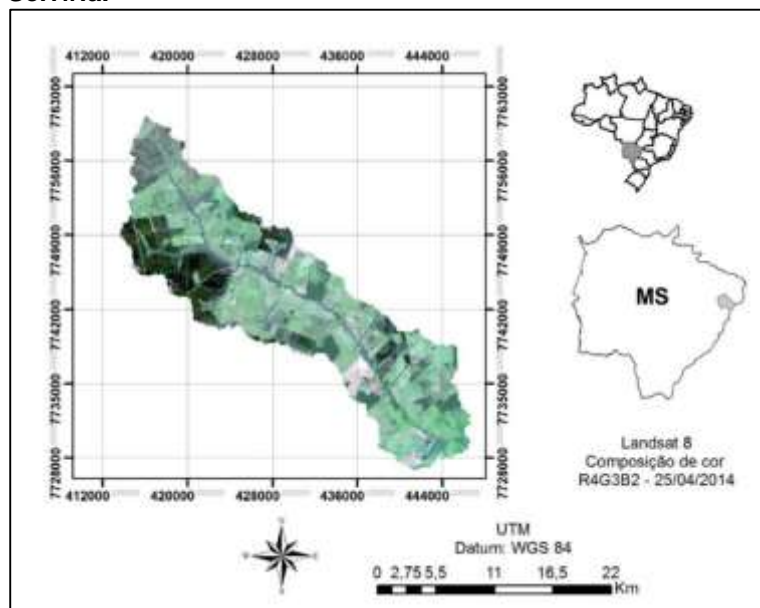
## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Área de Estudo

A área de estudo localiza-se no município de Selvíria, região leste do Estado de Mato Grosso do Sul, margem direita do Rio Paraná (Figura 1).

A bacia hidrográfica Ribeirão São Mateus apresenta área de 365,77 km<sup>2</sup> e o uso e ocupação predominante é a pastagem e a partir de 2000, o uso eucalipto começa a se destacar na área da bacia hidrográfica.

**Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica, o Estado do Mato Grosso do Sul com o limite do Município de Selvíria.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram avaliadas 13 imagens de satélite Landsat, sendo as imagens referente as datas de: 14/09/1996, 02/04/2000, 24/08/2000, 07/09/2005, 25/08/2006, 13/09/2007, 17/10/2008, 17/06/2010 e 08/09/2011 são do Landsat 5; e as 13/09/2013, 11/05/2014, 25/04/2014 e 19/09/2015 são do Landsat 8.

Utilizaram-se os dados agrometeorológicos obtidos através da rede de estação da UNESP – Ilha Solteira (UNESP, 2017), localizada a uma distância de 25 km da área de estudo. Os dados analisados foram: temperatura média diária ( $T_a$ ); radiação global incidente (RG) e evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ). Os de RG médios entre o período de 1999 a 2105 foram avaliados e interpretados através de gráficos.

Através dos valores dos pixels das imagens determinaram-se a estatística descrita para cada imagem avaliada, com valores mínimos e máximos, média e desvio padrão (DP).

### 3.2 Parâmetros de sensoriamento remoto

A radiância espectral ( $L_\lambda$ ) ( $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ) foi determinada a partir dos números digitais (ND) de cada banda espectral dos satélites Landsat 5 (CHANDER e MARKHAM, 2003) e 8 foram determinados conforme descritos em Teixeira (2010) e Teixeira et al. (2017).

Após a determinação da radiância calcularam os valores de albedo planetário ( $\alpha_p$ ) para cada banda e foram obtidos através da equação abaixo:

$$\alpha_{pb} = \frac{L_\lambda * \pi * d^2}{R_{ab} * \cos\theta} \quad (1)$$

$L_\lambda$  - radiância espectral na banda b,  $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$

$d^2$ - distância Terra-Sol, unidades astronômicas;

$R_{ab}$  - irradiância solar espectral média para cada banda no topo da atmosfera,  $W.m^{-2}.\mu m^{-1}$ , para o Landsat 5 utilizou-se os valores citado em Chander e Markham (2003) e para o Landsat 8 adotou-se os valores de Teixeira et al. (2017);

$\theta$  - ângulo zenital solar.

Em seguida o albedo planetário ( $\alpha_p$ ) é calculado através da soma dos valores obtidos em  $\alpha_{pb}$ , conforme descrito abaixo:

$$\alpha_p = \sum W_b \alpha_{pb} \quad (2)$$

O valor de albedo de superfície foi obtido conforme procedimento adotado em diferentes trabalhos e que executa correções atmosférica (TEIXEIRA et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2009a; TEIXEIRA, 2010).

A radiação espectral das bandas termais do satélite Landsat TM-5 (banda 6) e Landsat 8 (bandas 10 e 11) é transformado em temperatura radiométrica utilizando a inversão da Lei de Plank para a obtenção da temperatura no topo da atmosfera (TEIXEIRA et al., 2017). Na etapa seguinte, tem a transformação da temperatura radiométrica em temperatura aerodinâmica na superfície com correções entre a temperatura radiométrica e aerodinâmica (TEIXEIRA et al., 2009a).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) foram obtidos através das bandas do infravermelho próximo e do vermelho para as bandas do Landsat TM-5 e Landsat 8.

$$NDVI = \frac{\alpha_{p(IP)} - \alpha_{p(verm)}}{\alpha_{p(IP)} + \alpha_{p(verm)}} \quad (3)$$

onde:  $\alpha_{p(IP)}$  e  $\alpha_{p(verm)}$  são os valores de albedo planetário correspondem aos comprimentos de ondas na faixa do infravermelho próximo e faixa do vermelho.

### 3.3 Determinação do algoritmo SAFER - *Simple Algorithm for Retrieving Evapotranspiration*

Para a determinação da evapotranspiração atual utilizou-se o algoritmo SAFER, conforme equação 4:

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[ a + b \left( \frac{T_0}{\alpha_{NDVI}} \right) \right] \quad (4)$$

em que: a e b são os coeficientes de regressão, com valores de 1,0 para a região noroeste paulista (TEIXEIRA et al., 2014a,b) e - 0,008, respectivamente. Na próxima etapa, os valores instantâneos da relação ET/ET<sub>0</sub> são então multiplicados pelos valores diários da ET<sub>0</sub> obtidos a partir da estação agrometeorológica que permite a obtenção dos valores de ET.

### 3.4 Saldo de Radiação

O balanço de energia a partir do fluxo de energia com a determinação do fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor latente ( $\lambda E$ ), fluxo de calor no solo (G) e saldo de radiação ( $R_n$ ) descrito na equação abaixo:

$$R_n - \lambda E - G - H = 0 \quad (5)$$

Os valores de  $R_n$  na escala diária foram calculado na mesma escala de tempo conforme a equação denominada de Slop e citado em De Bruin e Stricker (2000); Teixeira et al. (2009); Teixeira (2010); Teixeira et al. (2014a,b):

$$R_n = (1 - \alpha_0)RS \downarrow \alpha_1 \tau_s \quad (6)$$

sendo:  $\alpha_0$  = albedo de superfície;  $RG$  = radiação solar global incidente obtida na estação agrometeorológica (UNESP, 2016);  $\tau_s$  = transmissividade atmosférica de ondas curtas na escala diária determinada conforme a Equação 12.  $a_1$  = coeficiente obtido conforme a Equação 11 e foi definida por Teixeira et al. (2008b):

$$a_1 = bT_a - c \quad (7)$$

$b$  e  $c$  são coeficientes de regressão e apresentam os seguintes valores, 7,0 e 39,93, respectivamente;  $T_a$  = temperatura do ar média ( $^{\circ}C$ ) foi obtida na estação agrometeorológica operada pela UNESP.

### 3.5 Radiação fotossinteticamente ativa

Os valores de radiação global incidente ( $RG$ ), obtidos através das estações meteorológicas, medida através do sensor piranômetro foram utilizados para a determinação da radiação fotossinteticamente ativa ( $PAR$ ) conforme equação abaixo:

$$PAR = aRS \downarrow \quad (8)$$

onde  $a$  é um coeficiente de regressão e corresponde o valor de 0,44 (TEIXEIRA et al., 2009). Na etapa seguinte, é determinar a radiação fotossinteticamente ativa absorvida ( $APAR$ ) conforme equação abaixo:

$$APAR = fPAR (W m^{-2}) \quad (9)$$

O fator  $f$  foi determinado através da equação 10:

$$f = aNDVI + b \quad (10)$$

em que os coeficiente de regressão  $a$  e  $b$  são 1,257 e  $-0,161$ , respectivamente, conforme descrito na literatura (BASTIAANSSEN e ALI, 2003; TEIXEIRA et al., 2009b).

### 3.6 Produção de Biomassa

A produção de biomassa (BIO) foi estimada conforme a equação 11:

$$BIO = \varepsilon_{max} E_f APAR \cdot 0,864 \quad (11)$$

onde  $\varepsilon_{max}$  é a eficiência do uso da luz máxima e corresponde o valor de  $2,5 MJ^{-1}$  pois a maioria da espécies na região de estudo são C4; e 0,864 é um fator de conversão (TEIXEIRA et al., 2013a).

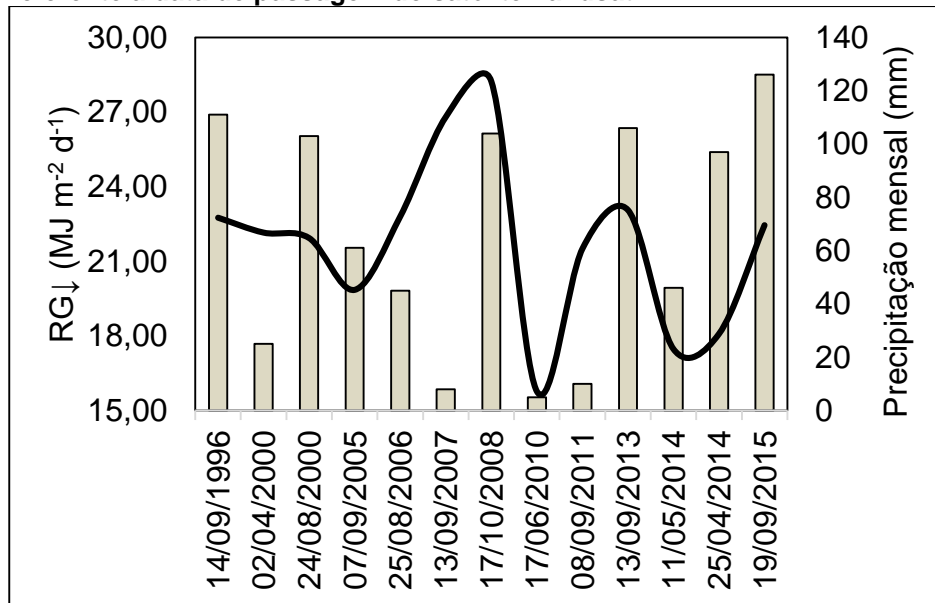
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Dados climatológicos

No Gráfico 1, a distribuição dos valores de RG em diferentes datas, os menores valores foram de  $15,7 MJ m^{-2} d^{-1}$  e ocorre na data de 17/06/2010 e o outro valor foi no mês de maio de 2014. O maior valor foi de  $28,2 MJ m^{-2} d^{-1}$  e ocorre em 17/10/2008, os maiores valores ocorrem no período em que o Sol está em posição zenital. No município de Ilha Solteira, Lacerda et al. (2011) encontraram valor de  $22,7 MJ m^{-2} d^{-1}$  para o mês de novembro.

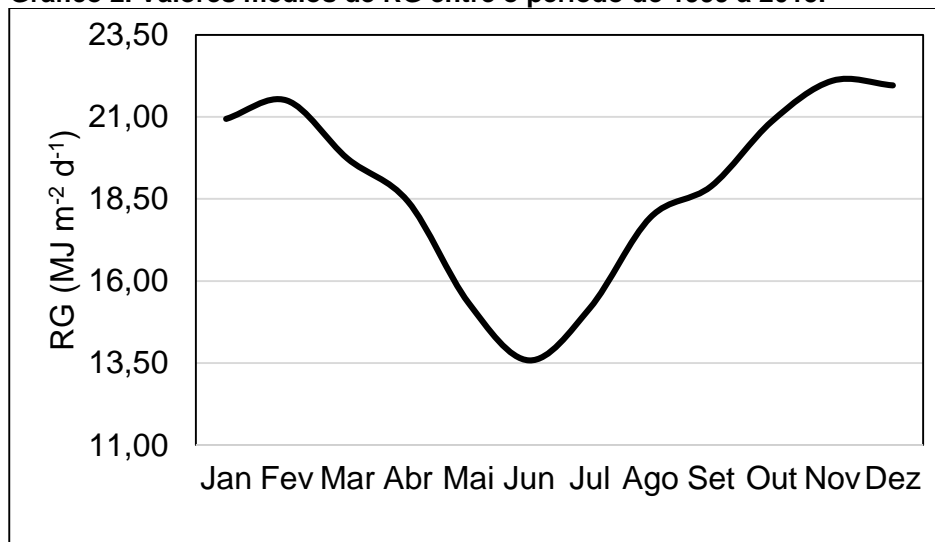
As somas mensais da precipitação para cada data das imagens são avaliadas (Gráfico 1) e os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de outubro e setembro, com exceção para os anos de 2007 e 2011. Em setembro de 2015, o maior valor mensal de precipitação (126 mm) e os menores valores ocorreram em junho de 2010 (5 mm) e setembro de 2007 (8 mm) (UNESP, 2017).

**Gráfico 1. Distribuição dos valores de RG diário e precipitação mensal referente a data de passagem do satélite Landsat.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Gráfico 2. Valores médios de RG entre o período de 1999 a 2015.**



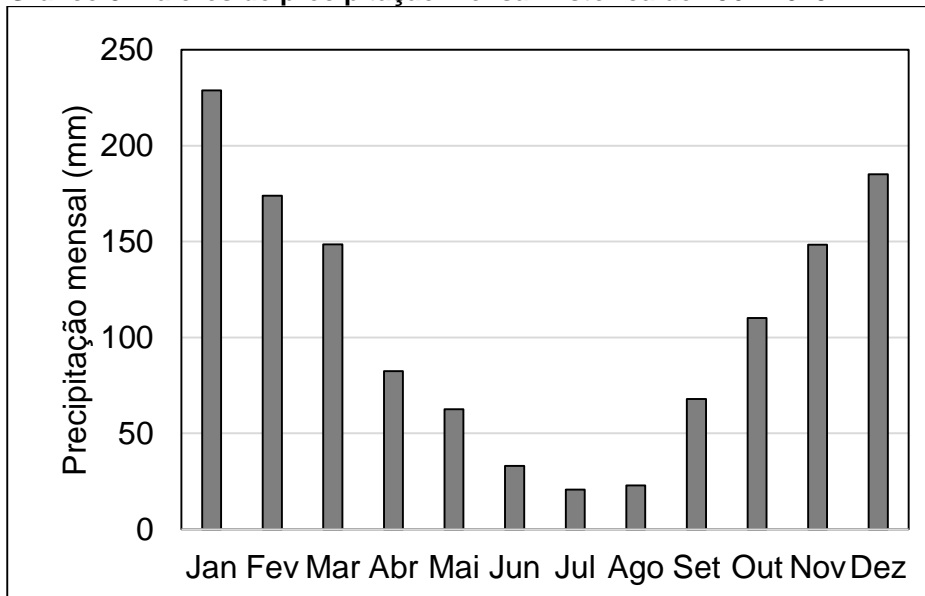
Fonte: Elaborado pelos autores.

No Gráfico 2, os valores médios de RG para o período avaliado entre 1999 a 2015, com os menores valores para os meses de maio, junho e julho. O baixo valor de radiação no mês de junho é devido a presença do solstício de inverno no hemisfério Sul (FRANCO et al., 2013).

As médias históricas de precipitação para o município de Ilha Solteira para os meses de setembro é de 68 mm, para o mês de agosto é de 23 mm e o mês de outubro com 110 mm (UNESP, 2017) (Gráfico 3). As reduções nos valores de

precipitação ocorrem nos meses de junho, julho e agosto e os maiores valores ocorrem em dezembro, janeiro, fevereiro e março.

**Gráfico 3. Valores de precipitação mensal histórica de 1967-2015.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

## 4.2 Produção de biomassa

Os valores de BIO são dependentes dos valores de RG. Condição verificada nos meses de junho a agosto que apresentam valores baixos de RG na região de estudo (Gráfico 2) e condição de seca na região noroeste paulista conforme descrito em Santos et al. (2010).

As Figuras 2 e 3 apresentam a distribuição dos valores médios e desvio padrão de BIO em diferentes datas de passagem do satélite Landsat.

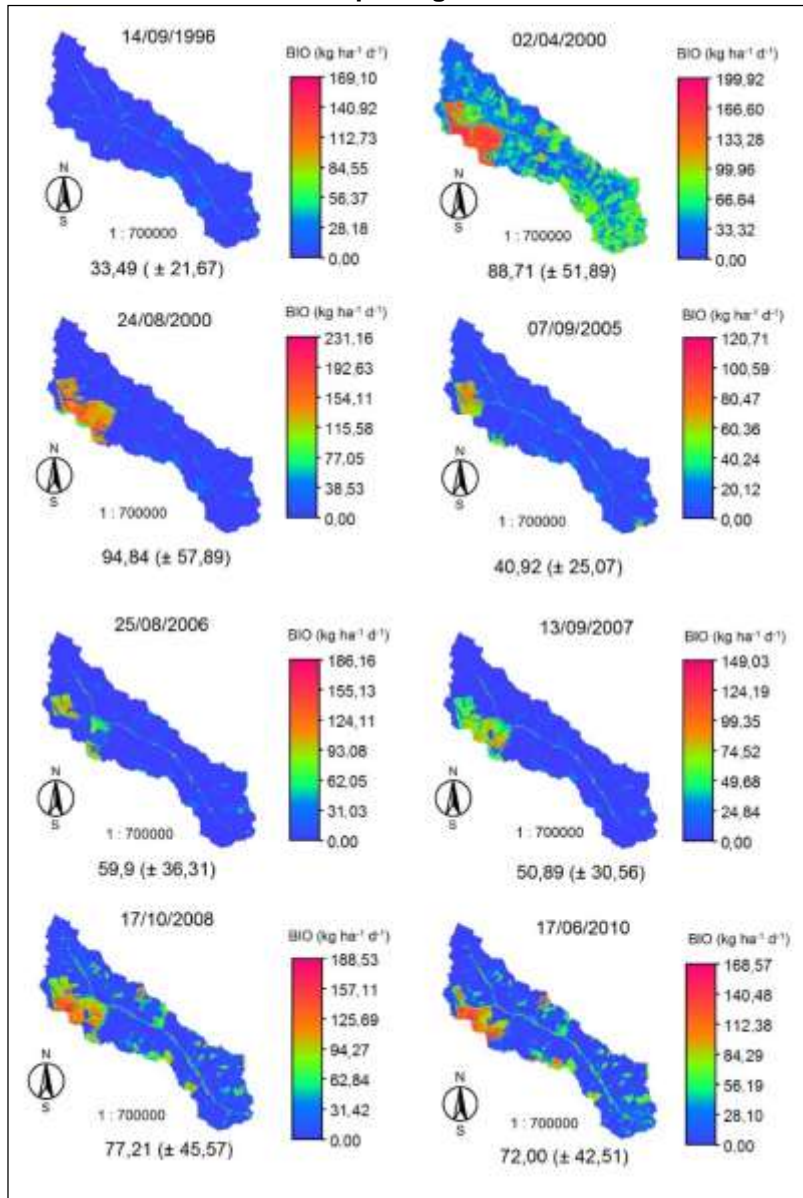
O menor valor médio analisado foi em 14/09/1996 com 33,49 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (DP: ±21,67 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) na data analisada a pastagem é predominante na bacia hidrográfica e os valores são baixos. A vegetação nativa, caracterizada pelas matas ciliares apresentaram valores entre 60,00 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> a 150,0 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>.

O mês de setembro para diferentes imagens avaliadas no estudo verificaram-se baixos valores de BIO, devido a condição climatológica na região que neste caso, a média histórica para esse mês foi de 68 mm (UNESP, 2017).

O maior valor médio de BIO ocorreu em agosto de 2000 com 94,84 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (DP: ± 57,89 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) provavelmente este valor foi devido a precipitação acumulada mensal que foi de 103 mm. A média história (1967- 2015) para o mês de

agosto no município de Ilha Solteira-SP é de 23 mm (UNESP, 2017) (Gráfico 3). Por outro lado, na data de 25/08/2006 a média foi de 59,9 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (DP: ± 36,31 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), neste período a precipitação acumulada foi de 45 mm (UNESP, 2017).

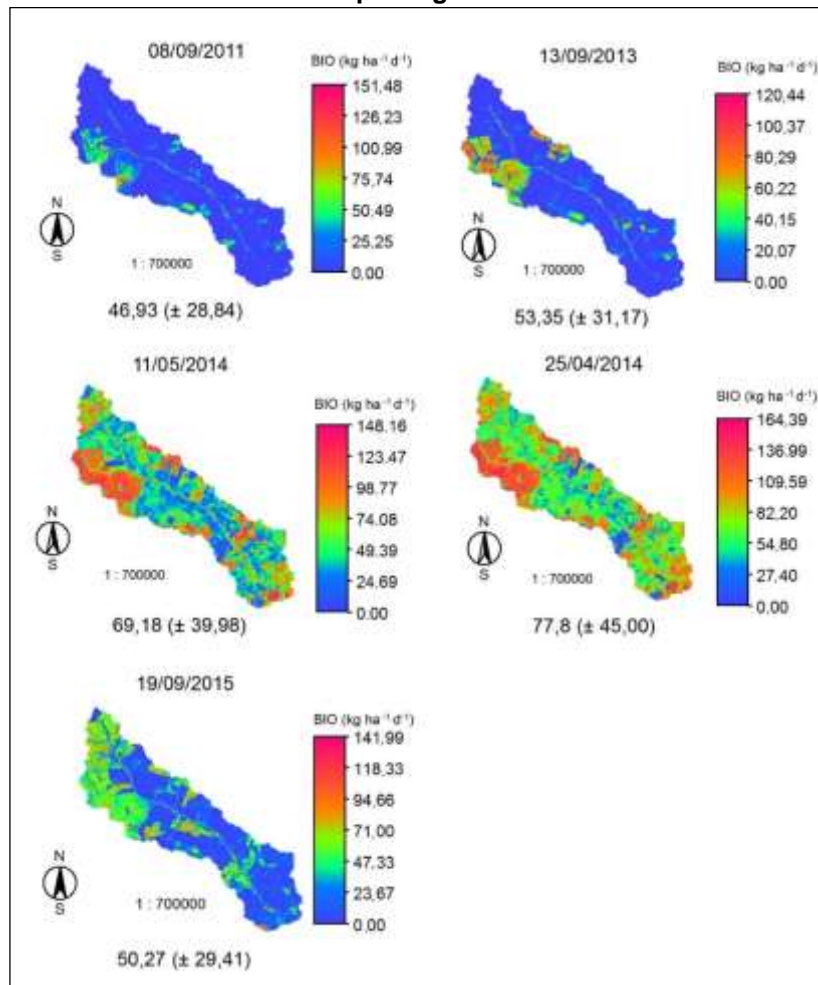
**Figura 2. Distribuição espacial e temporal dos valores médio de BIO em diferentes datas de passagem do satélite.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os meses de abril (02/04/2000 e 25/04/2014), maio (11/05/2014), junho (17/06/2010) e outubro (17/10/2008) estão com valores elevados de BIO (Figuras 2 e 3), essa condição foi favorecida pela precipitação que fornece umidade ao solo. No mês de junho (17/06/2010), o uso eucalipto apresenta valor de 168,57 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> e em 25/04/2014 o valor de 164,39 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>.

**Figura 3. Distribuição espacial e temporal dos valores médios de BIO em diferentes datas de passagem do satélite.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

No mês de setembro de 2013, o valor de BIO para o eucalipto é de 120,44 Kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, condição inferior em relação as outras datas. Na região de Santa Fé do Sul-SP, o mês de setembro na bacia hidrográfica Cabeceira Comprida apresentou valores baixos de BIO no ano de 2015 (COAGUILA et al., 2017), situação semelhante ao presente estudo.

Os altos valores de BIO estão relacionados principalmente ao período chuvoso na região e redução nos valores no período seco. Esta condição é verificada em outros estudos, no semiárido e na região noroeste paulista (TEIXEIRA et al., 2013; FRANCO et al., 2014; FRANCO et al., 2016).

#### 4 CONCLUSÕES

Com técnicas de sensoriamento remoto e aplicações dos modelos SAFER e Monteith em conjunto como os dados meteorológicos e climáticos permitiram a

determinação da estimativa da BIO. Os maiores valores de BIO ocorreram no período chuvoso e menores ocorreram no período seco.

## REFERÊNCIAS

BASTIAANSSEN, 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.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures, and post-calibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 2674–2677, 2003.

COAGUILA, D. N.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C.; FRANCO, R. A. M.; LEIVAS, J. F. Water productivity using SAFER - Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving in watershed. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.8, p.524-529, 2017.

DE BRUIN, H. A. R.; STRICKER, J. N. M. Evaporation of grass under non-restricted soil moisture conditions. *Hydrological Sciences*, v. 45, p. 391– 406, 2000.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C. Aplicação do algoritmo SAFER na determinação da evapotranspiração em condições de sazonalidade climática no noroeste paulista. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 17, 2015, João Pessoa-PB. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p.3189-3196.

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: *SPIE Proceedings*, 92392E (1) 92392E(7), 2014, International Society for Optics and Photonics.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C.; FEITOSA, D. G. 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 Sensoriamento Remoto*, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p.6909-6916.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; COAGUILA, D. N.; NEALE, C. M. Water productivity mapping using Landsat 8 satellite together with weather stations. In: *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVIII*, (ed.) Neale, C. M. U.; Maltese, A. Proc. of SPIE., Vol. 9998, 2016.

KUMAR, M., MONTEITH, J.L. Remote sensing of crop growth. In: Smith, H. (Ed.), *Plants and the Daylight Spectrum*. Academic Press, London, pp. 133-144, 1981.

LACERDA, M. D.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.; FEITOSA, D.G.; SANTOS, G.O.; TEIXEIRA, A.H.C. Estimativa da radiação solar global no noroeste

paulista. In: Inovagri - International Meeting & IV Workshop International de Inovações Tecnológicas na Irrigação, 2012, Fortaleza. Anais..Fortaleza: IFCE, 2012. Disponível em: <[http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/winotec2012/Marcos/marcus\\_winotec.pdf](http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/winotec2012/Marcos/marcus_winotec.pdf)>. Acesso em: 04 jul. 2017.

MONTEITH, J.L. Climate and efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of The Royal Society Series B*, v. 281, p. 277-294, 1977.

MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, v. 9, p. 747-766, 1972.

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*, v.4, p.142-149, 2010. <https://doi.org/10.7127/rbai.v4n300010>

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Large-scale radiation and energy balances with Landsat 8 images and agrometeorological data in the Brazilian semiarid region. *J. Appl. Remote Sens.* 11(1), 016030 (2017), doi: 10.1117/1.JRS.11.016030.

TEIXEIRA, A. H.C.; HERNANDEZ, F. B. T.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J.F.; BOLFE, E. L. Energy balance with Landsat images in irrigated central pivots. In: *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVI*, (ed.) Neale, C. M. U.; Maltese, A. SPIE Proceedings., Amsterdam, Netherlands. ,Vol. 9239, 2014.

TEIXEIRA, A.H. DE C., W.G.M., BASTIAANSSEN, AHMAD, M-UD-D, BOS, M. G. 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, 2009a.

TEIXEIRA, A.H. DE C., W.G.M., BASTIAANSSEN, AHMAD, M-UD-D, BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part B: Application to the large scale. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 149, p. 477-490, 2009b.

TEIXEIRA, A.H. de 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*, v.2, p.1287-1319, 2010.

TEIXEIRA, A.H. de C.; HERNANDEZ, F.B.T.; LOPES, H.L.; SCHERER-WARREN, M.; BASSOI, L.H. A Comparative Study of Techniques for Modeling the Spatiotemporal Distribution of Heat and Moisture Fluxes in Different Agroecosystems in Brazil. In: GEORGE G. PETROPOULOS. (Org.). *Remote Sensing of Energy*

Fluxes and Soil Moisture Content. 1ed. Boca Raton, Florida: CRC Group, Taylor and Francis, 2014b, p. 169-191.

TEXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; WARREN, M.S.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L.; THENKBAIL, P. S.; FRANCO, R. A. M. Water Productivity Studies from Earth Observation Data: Characterization, Modeling, and Mapping Water Use and Water Productivity. In: Prasad Srinivasa Thenkabail. (Org.). Remote Sensing of Water Resources, Disasters, and Urban Studies. 3ed.: CRC Press, 2015, v. 3, p. 101-125.

TEXEIRA, A. H. C.; WARREN, M.S.; HERNANDEZ, F. B. T; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F. Large-Scale Water Productivity Assessments with MODIS Images in a Changing Semi-Arid Environment: A Brazilian Case Study. Remote Sens. 2013, 5, 5783-5804; doi:10.3390/rs5115783

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, ABRH, 2000.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, M. T. Recursos hídricos no século XXI. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

UNESP. Acesso à base diária: Ilha Solteira, SP. Ilha Solteira-SP, julho 2017. Disponível em: <clima.feis.unesp.br>.