

Determinação da Produção de Biomassa e da Evapotranspiração em larga escala na bacia do Submédio São Francisco

Antônio Heriberto de Castro Teixeira¹

¹Embrapa Semiárido – CPATSA – BR, 428, Km 152 – S/N – Zona Rural – Petrolina – PE – Brazil, email: heribert@cpatsa.embrapa.br

ABSTRACT: To achieve sustainable development and to ensure water availability in hydrological basins, water managers it's important to have accurate tools available to determine the biomass production (BIO) and actual evapotranspiration (ET) on a large scale. Satellite measurements together with a net of agro-meteorological stations were used for these determinations, throughout the coupled application of two models in the semi-arid of the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil. Monteith's model was applied for estimating BIO, while the locally calibrated surface energy balance algorithm for land (SEBAL) was used for the energy partitioning in ET determinations. The years of 2004 and 2005 with different rainfall regimes were used for BIO analyzes. During the rainier year, the BIO values for natural vegetation reached till $40 \text{ t ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$, while for well irrigated crops they were around $75 \text{ t ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ considering both years. Analyzing the daily rates of the regional ET, pixels with values lower than 1.0 mm d^{-1} occurred outside the rainy season, representing the caatinga species. Values from 1.0 to 5.0 mm d^{-1} during the driest conditions of the year coincided with irrigated crops. The models are considered to be suitable for crop production and water consumption analyses in basins with changing land use pattern with the availability of satellite images and agro-meteorological stations.

Palavras-chave: Balanço de Energia, Fluxo de Calor Latente, Modelagem Hidrológica, Manejo dos Recursos Hídricos

1 – INTRODUÇÃO

Enquanto que a produção agrícola ocorre com atuação humana, esta é também influenciada pelos mesmos fatores ecológicos que moldam e dirigem os ecossistemas naturais. Mudanças nos processos que mantêm a estrutura e o funcionamento de um ecossistema, como a produção de biomassa e fluxos hídricos podem trazer efeitos prejudiciais ao meio ambiente em bacias hidrográficas, incluindo erosão do solo e perda da biodiversidade.

Os altos níveis de erosão em rios da Ásia, África e América Latina são conseqüências das práticas de uso da terra, particularmente a rápida substituição da vegetação natural pela agricultura irrigada (Hall, 2002). As mudanças ambientais decorrentes desta substituição são raramente consideradas no manejo dos recursos hídricos (Gordon et al, 2005). Por outro lado, a capacidade das mudanças de uso da terra influenciar as condições locais através das alterações nos balanços de energia tem sido reconhecida, podendo alterar o ciclo hidrológico com efeito na precipitação e contribuir para alterações climáticas globais (Kabar et al., 2004).

O aumento de áreas agrícolas sobre as áreas de vegetação natural nas décadas recentes na bacia do Submédio São Francisco tem resultado em maior uso da água fresca para a irrigação. Este consumo extra já vem alterando o regime hídrico do rio, com declínio substancial das descargas no oceano, que somando-se a construção de estruturas hidráulicas alteram os ecossistemas à jusante. Os efeitos negativos incluem a perda das opções do modo de subsistência, fragmentação e destruição dos habitats naturais, mudanças na composição das comunidades aquáticas, extinção de espécies e problemas de saúde provenientes de água estagnada (Finlayson e D'Cruz, 2005).

Estimativas de parâmetros hídricos e da vegetação em condições de mudança de uso da terra se tornam, portanto, muito importantes em bacias hidrográficas de países em desenvolvimento para suporte ao planejamento e decisões políticas com relação aos recursos naturais, evitando-se agressões ambientais. A necessidade de modelagens aumenta com as mudanças climáticas e o crescimento da população. Os principais modelos incluem o sensoriamento remoto para o manejo de grandes áreas agrícolas, destacando-se como uma boa alternativa para a obtenção da BIO e da ET em larga escala (Teixeira et al., 2009a,b).

A BIO está relacionada à matéria orgânica servindo para comparações entre diferentes condições de usos da terra. Para obtenção do balanço de carbono o conceito de eficiência de uso da luz de Monteith (1972, 1977) baseado na interceptação da radiação solar pode ser usado. Este modelo pode ser aplicado em diferentes imagens de satélites conjuntamente com dados agro-meteorológicos para quantificar a variação espacial e temporal da BIO em ecossistemas mistos. Por outro lado a determinação da ET por sensoriamento remoto dispensa a necessidade de dados hidrológicos difíceis de serem obtidos, destacando-se o algoritmo SEBAL, que pode ser aplicado em diferentes ecossistemas (Bastiaanssen, 2000, Teixeira et al., 2009a,b).

O objetivo deste trabalho é combinar o modelo de Monteith (1972, 1977) com o modelo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) calibrado para as condições semiáridas do Brasil (Teixeira et al., 2009a), demonstrando-se a grande utilidade da combinação de dados agro-meteorológicos e sensoriamento remoto para análises da BIO e da ET em ecossistemas mistos envolvendo vegetação natural e culturas irrigadas em larga escala, nas condições de rápidas mudanças de uso da terra, com ênfases na situação atual da bacia hidrográfica do Submédio São Francisco.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Neste artigo foram utilizadas seis imagens Landsat envolvendo diferentes condições de umidade nos anos de 2004, 2005, 2006 e 2007 em conjunto com uma rede de sete estações agro-meteorológicas situadas no centro de desenvolvimento da bacia do Submédio São Francisco.

No cálculo da BIO, os valores interpolados da radiação solar global incidente (RG_{24}) para 24 horas foram usados na estimativa dos valores regionais da radiação fotossinteticamente ativa na mesma escala de tempo (RFA_{24}) através de equação de regressão localmente calibrada (Teixeira et al. (2009a).

Os valores para a radiação fotossinteticamente ativa absorvida em 24 horas ($ARFA_{24}$) foram estimados diretamente da RAF_{24} :

$$ARFA_{24} = fRFA_{24} \text{ (W m}^{-2}\text{)} \quad (1)$$

O fator f foi obtido de medições do NDVI pelo Landsat nas bandas do visível e infravermelho próximo (Teixeira et al., 2009b)

Os valores anuais da produção de biomassa (BIO_{ano}) foram calculados pela seguinte expressão:

$$BIO_{ano} = \sum (\epsilon_{max} E_{F24} ARFA_{24} 0.864) (\text{kg ha}^{-1}) \quad (2)$$

onde ϵ_{max} é a eficiência máxima no uso da luz, que de acordo com Monteith (1972), sem a ocorrência de estresse hídrico, varia apenas com a classificação das culturas como c3 ou c4. E_F é a fração evaporativa que inclui os efeitos das condições de umidade edáfica.

Os valores diários (subscrito 24) de E_F foram calculados como:

$$E_{F24} = \frac{\lambda E_{24}}{Rn_{24} - G_{24}} \quad (3)$$

onde λE , R_n e G são os fluxos de calor latente, sensível e no solo, respectivamente..

O algoritmo SEBAL foi usado para a obtenção da ET. O modelo exige dados de radiação espectral juntamente com dados agro-meteorológicos, computando R_n , H e G para cada pixel de uma imagem de satélite e λE é adquirido como resíduo na equação do balanço de energia no momento da passagem do satélite (Teixeira et al., 2009a):

$$\lambda E = Rn - H - G \quad (4)$$

Todos os termos da Equação 4 podem ser expressos em $W m^{-2}$ ou $MJ m^{-2} dia^{-1}$.

O saldo de radiação de ondas curtas disponível na superfície depende de R_G e do albedo da superfície (α_0). O segundo parâmetro é calculado através das radiações espectrais para cada banda do satélite com aplicação de expressões matemáticas para a integração espectral e correções atmosféricas. A radiação de ondas longas emitida ($RL\uparrow$) é obtida usando a equação de Stefan-Boltzmann com a emissividade da superfície (ϵ_0) e a temperatura de superfície (T_0) adquirida pelo satélite após correções. A radiação de ondas longas incidente ($RL\downarrow$) é calculada usando a equação de Stefan-Boltzmann com a emissividade atmosférica (ϵ_a) e dados da temperatura do ar (T_a).

G é calculado pela razão G/R_n e H é obtido iterativamente através dos gradientes de temperatura próximos a superfície (ΔT). SEBAL computa ΔT através do seu relacionamento linear com T_0 , e os coeficientes desta relação são adquiridos depois de um procedimento interno da calibração. O algoritmo usa dois pixels de referência em que valores para H podem ser estimados com base nas estimativas em uma área seca e em uma área úmida. Calibrações locais dos termos do balanço de radiação e energia utilizadas neste trabalho são explicadas passo a passo em Teixeira et al. (2009a).

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os balanços de radiação e energia foram realizados com imagens seis imagens Landsat durante o período de 2004 a 2007. Os anos de 2004 e 2005 considerados como chuvoso e seco, respectivamente, foram usados para avaliação dos valores anuais da BIO. As imagens Landsat de junho de 2006 e de janeiro de 2007 foram calibradas com dados de campo nos anos de 2004 e 2005 e sucessivamente interpoladas juntamente com as imagens de outubro e novembro de 2004 e 2005 para a obtenção dos valores da BIO em escala anual (Teixeira et al., 2009a).

A Figura 1 apresenta os mapas da BIO para os anos de 2004 e 2005.

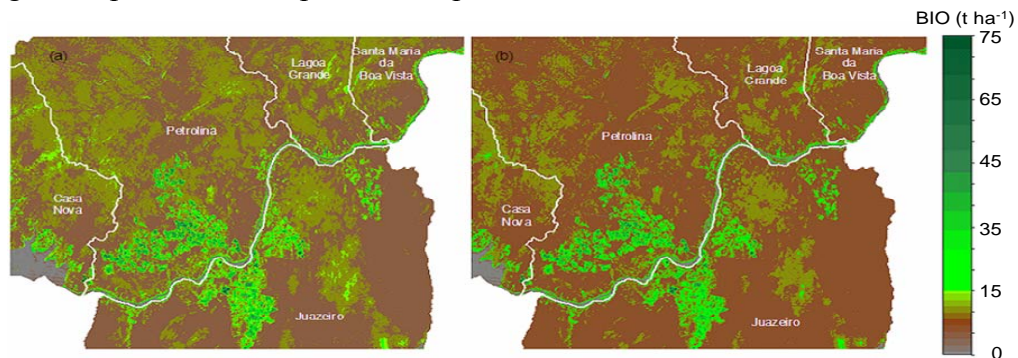


Figura 1. Produção anual de biomassa para 2004 (a) e para 2005 (b) no Submédio São Francisco.

Os valores mais altos são encontrados para as culturas irrigadas ($50 - 80 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), enquanto que para caatinga os valores são abaixo de $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Como uma consequência de maiores valores de precipitação em 2004, este ano apresentou uma área verde maior representando a caatinga mais úmida, quando comparado com 2005 (Figura 1a). Durante o período de janeiro a abril, as chuvas fornecem água para um suficiente armazenamento da água na zona das raízes das espécies da vegetação natural proporcionando valores de BIO de até $40 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Culturas bem supridas de água de irrigação apresentam valores em torno de $75 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ considerando-se ambos os anos. Os municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, através dos maiores valores da BIO se destacam como áreas de maior substituição da vegetação natural por culturas irrigadas.

Os valores regionais diários da ET para dois períodos diferentes do ano na bacia do Submédio São Francisco são descritos na Figura 2.

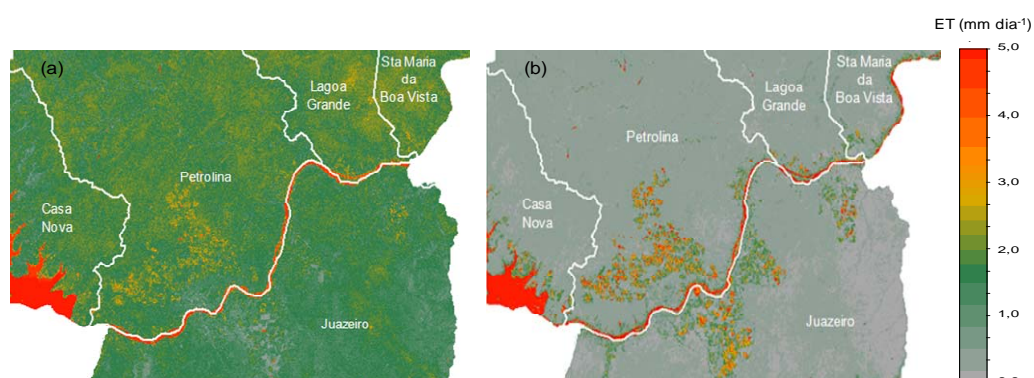


Figure 2. Distribuição espacial da evapotranspiração atual (ET) diária no Submédio São Francisco: para o período chuvoso em janeiro de 2007 (a) e para o período seco em outubro de 2005.

Durante o período chuvoso (janeiro), as taxas de evapotranspiração da caatinga são, em alguns casos, similares àquelas das áreas irrigadas. Uma elevada porção da energia disponível para a vegetação natural é convertida na ET, fazendo com que as condições de umidade no solo sejam semelhantes para os dois tipos de vegetação, pois em geral, os produtores suspendem a irrigação durante as chuvas.

A caatinga converte elevadas frações da energia disponível em ET durante o período mais seco do ano (outubro) fazendo com que as taxas evaporativas desta vegetação natural fiquem bem abaixo daquelas em condições de irrigação. Em geral os intervalos de irrigação são pequenos neste período, e o suprimento de água é bastante uniforme reduzindo a perda de calor para a atmosfera nas culturas irrigadas.

Considerando ambos os períodos do ano, áreas com valores menores que $1,0 \text{ mm d}^{-1}$ ocorrem fora da estação chuvosa, representando as espécies da caatinga. Valores entre $1,0$ a $5,0 \text{ mm d}^{-1}$ durante o período mais seco do ano coincidem com as culturas irrigadas. Como os valores elevados da BIO estão relacionados com altas taxas evapotranspiratórias, os municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, com maiores valores de ET confirmam as áreas de maior substituição da vegetação natural por culturas irrigadas.

4 – CONCLUSÕES

Modelagens com uso de imagens de satélites e dados agro-meteorológicos são testados para a análise da produção de biomassa e da evapotranspiração nas condições de rápida mudança de uso da terra na hidrográfica do Submédio São Francisco. Este conhecimento é importante para adoção de políticas públicas que visem o manejo racional dos recursos hídricos com redução dos danos ambientais.

Avaliaram-se cinco municípios dos Estados de Pernambuco (PE) e da Bahia (BA) dentro da rede de abrangência da rede de estações agro-meteorológicas da Embrapa Semiárido, onde a agricultura irrigada é concentrada. Destacam-se Petrolina-PE e Juazeiro-BA, como os de maiores produção de biomassa e de taxas evapotranspiratórias, resultante principalmente da substituição da caatinga por comerciais irrigadas.

O atual cenário das condições atuais e da evolução da área irrigada sobre a vegetação natural é um indicativo da importância do manejo racional dos recursos naturais. Com o uso do sensoriamento remoto em conjunto com uma rede de estações agro-meteorológicas pode-se fazer um acompanhamento histórico das condições hidrológicas da região semiárida do Brasil. As ferramentas testadas e apresentadas neste trabalho podem ser operacionalmente incrementadas para monitoramento do aumento da agricultura irrigada sobre a vegetação natural subsidiando medidas para evitar o desequilíbrio ambiental causado pela intensificação irrigação nos centros de desenvolvimento da bacia do Rio São Francisco.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTIAANSSSEN, W.G.M. SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *J. Hydrol.*, v.229, p. 87-100, 2000.

FINLAYSON, C.M., D'CRUZ., R. Inland Water Systems. In: R. HASSAN, R. SCHOLLES, and N. ASH (eds.). *Ecosystems and human well-being: current state and trends: findings of the condition and trends working group*. Island Press, Washington, D.C., 2005.

GORDON, L.J., STEFFEN, W., JÖNSSON, B.F., FOLKE, C., FALKENMARK, M., JOHANNESSEN, Å. Human modification of global water vapor flows from the land surface. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 102, n. 21, p. 7612-7617, 2005.

HALL, S.J. The Continental Shelf Benthic Ecosystem: Current Status, Agents for Change and Future Prospects. *Environ. Conservat.*, v. 29, n. 3, p. 350-374, 2002.

KABAT, P., CLAUSSEN, M., DIRMEYER, P.A., GASH, J.H.C., BRAVO DE GUENNI, L., MEYBECK, M., PIELKE, R.A. SR., VÖRÖSMARTY, C.J., HUTJES, R.W.A., LÜTKEMEIER., S. *Vegetation, water, humans and the climate: a new perspective on an interactive system*. Springer-Verlag, 2004.

MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J. Appl. Ecol.*, v. 9, p. 747-766, 1972.

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.

TEIXEIRA, A.H. DE C., W.G.M., BASTIAANSSSEN, 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. *Agr. Forest. Meteorol.*, v. 149, p. 462-476, 2009a.

TEIXEIRA, A.H. DE C., W.G.M., BASTIAANSSSEN, 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. *Agr. Forest. Meteorol.*, v. 149, p. 477-490, 2009b.