



## MODELAGEM DA VARIABILIDADE SAZONAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA AMAZÔNIA ORIENTAL: UMA APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Pedro P. Ferreira Júnior<sup>1</sup>, Adriano M. Leão de Sousa<sup>2</sup>, Maria Isabel Vitorino<sup>3</sup>.

1 Msc. em Ciências Ambientais, Pesquisador, Instituto Tecnológico VALE de Desenvolvimento Sustentável - ITVDS, Belém –PA, ferreirajunior\_pp@yahoo.com.br

2 Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Prof. Adjunto, Instituto Sócio Ambiental e Recursos Hídricos – ISARH/UFRA, Belém – PA, marlisoms@yahoo.com.br

3 Dra. em Meteorologia, Prof. Adjunto, Instituto de Geociências – IG/ UFPA, Belém – PA, vitorino@ufpa.br

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Eventos Benedito Nunes, Belém – PA.

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho foi analisar a variabilidade sazonal da evapotranspiração (ET) em área de floresta primária na Amazônia Oriental, durante um ano com episódio de La Niña. Para isso, utilizaram-se dados obtidos por eddy correlation da torre micrometeorológica e de imagens do sensor Modis/Acqua, aplicados ao algoritmo SEBAL. Os resultados observados indicaram que a evapotranspiração média em Caxiuanã foi maior no período seco (Setembro a Dezembro), mostrando que o volume pluviométrico anormalmente positivo da estação chuvosa (Janeiro – Maio) desempenhou papel fundamental na manutenção de altas taxas evapotranspirativa nos meses de pouca disponibilidade hídrica. A variabilidade sazonal de ET obtida pelo SEBAL apresentou superestimativa com relação aos valores médios mensais observados. No entanto, o padrão reproduzido pelo algoritmo gerou valores de ET muito semelhantes aos reportados para a região. O estudo demonstrou que se o SEBAL for aplicado a dados temporal e espacial de alta resolução, esta técnica pode ser rotineiramente utilizada, tornando-se ferramenta fundamental no monitoramento de necessidades hídricas e atmosféricas.

**PALAVRAS-CHAVE:** evapotranspiração, sensoriamento remoto, SEBAL.

## MODELING OF THE SEASONAL VARIABILITY OF EVAPOTRANSPIRATION IN EASTERN AMAZON: AN APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNIQUES

**ABSTRACT:** This study aimed to analyze the seasonal variability of evapotranspiration (ET) in the area of primary forest in Eastern Amazon, during a year with La Niña event. For this, we used data obtained by eddy correlation from micrometeorological tower and images from Modis/Acqua sensor, applied to the algorithm SEBAL. The results indicated that the observed average evapotranspiration in Caxiuanã was higher in the dry season (September to December), showing that the rainfall volume anomalously positive in the rainy season (January-May) played a key role in maintaining of the high evapotranspiration rates in months of low water availability. The seasonal variability of ET obtained by SEBAL presented





overestimate with regard to monthly average values observed. However, the pattern played by the algorithm generated ET values very similar to those reported for the region. The study showed that if the SEBAL is applied to temporal and spatial data, this technique can be routinely used, becoming a fundamental tool in the monitoring of atmospheric and water needs.

## INTRODUÇÃO

O monitoramento da Evapotranspiração (ET), em suas componentes espacial e temporal, representa um grande desafio para a compreensão do particionamento energético e hidrológico entre a superfície e a atmosfera. Dentre as parcelas que compõem o ciclo hidrológico, a ET é uma com maior incerteza, por ser de difícil medição, o que requer métodos indiretos para sua estimativa. Normalmente, medições com lisímetros, cintilômetros ou sistemas de covariância de vórtices turbulentos são limitadas porque representam valores pontuais de ET para um local espacialmente restrito ou homogêneo. Assim, a estimativa da ET tem sido amplamente estudada, combinando medições meteorológicas convencionais com dados de sensoriamento remoto. Um dos algoritmos que mais tem sido aplicado com a finalidade é o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), desenvolvido por Bastiaanssen (1995). O algoritmo utiliza dados de imagens orbitais e alguns dados complementares de estações meteorológicas de superfície. Portanto, este trabalho objetiva estimar a ET para uma área de floresta primária na Amazônia Oriental, uma vez que regiões cobertas por florestas naturais são as principais fontes de aquecimento da atmosfera e a partição de energia sobre essas superfícies vegetadas não tem tido densa rede de observações.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreendeu parte da Floresta Nacional de Caxiuanã – FNCax ( $10^{\circ} 42' 30''$  S e  $51^{\circ} 31' 45''$  W), localizada em Melgaço, Pará. Sua base física, a Estação Científica Pena - ECFPn, está situada na margem direita do rio Curuá com 2.707 m<sup>2</sup>, distando cerca de 400 km SW de Belém em linha reta. Limita-se ao norte pelo divisor de águas entre as bacias dos rios Caxiuanã e Amazonas, ao sul seu limite natural é o rio Caxiuanã, a Leste a baía de Caxiuanã e o igarapé do Laranjal e a Oeste com o igarapé Grande (LISBOA, P. 2002b) (Figura 1). A precipitação média anual no sítio é de aproximadamente 2000 mm, com temperaturas médias anual de 26° C e médias extremas (mínimos e máximos) de 22° C e 32° C, respectivamente. Possui período mais chuvoso de janeiro a maio e período menos chuvoso de setembro a dezembro. A umidade relativa média anual situa-se em torno de 80%. A direção do vento predominante é de nordeste (MORAES et al., 1997).



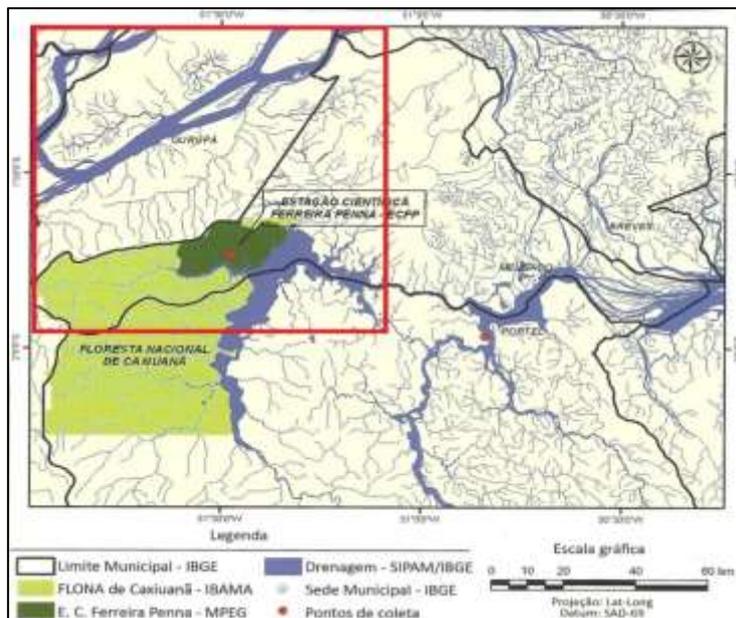


Figura 1 – Área de estudo (limites em vermelho), parte da FNCax.

Os dados observacionais fazem parte do Projeto de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). As medições micrometeorológicas de fluxos de energia e concentração de vapor d'água foram obtidas através de um sistema eddy correlation. Os dados orbitais foram obtidos através de imagens do sensor MODIS/Aqua e são médias de oito dias para os produtos para as variáveis Reflectância da Superfície (MOD09) Temperatura da Superfície (MOD11), e imagens de dezesseis dias do produto Índice de Vegetação (MOD13). O balanço de energia determinado pelo algoritmo SEBAL e sua metodologia completa podem ser encontradas em (SOUSA et al., 2007). A evapotranspiração, obtida pela divisão do fluxo de calor latente pelo calor latente de vaporização da água, foi estimada como o resíduo da equação do balanço de energia, contabilizando-se a diferença entre a radiação líquida, o fluxo de calor para o solo e o fluxo de calor sensível. A equação 1 apresenta o balanço de energia do algoritmo.

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

Em que,  $\lambda ET$  é o fluxo de calor latente ( $W/m^2$ );  $R_n$  é o saldo de radiação na superfície ( $W/m^2$ );  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $W/m^2$ );  $H$  é o fluxo de calor sensível ( $W/m^2$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, a evapotranspiração estimada pelo SEBAL revela uma superestimativa em relação à evapotranspiração calculada por eddy correlation, principalmente nos meses de transição (Figura 2). Neste período, o erro percentual entre  $ET_{OBS}$  e  $ET_{SEBAL}$  foi em média -33%; enquanto para os meses da estação chuvosa e seca foram em média -24% e -6%, respectivamente. Os meses do período seco de Caxiuanã apresentaram as maiores taxas evapotranspirativa do ano, em média  $3,7 \text{ mm.dia}^{-1}$ . A  $ET_{OBS}$  mostrou uma sazonalidade muito

acentuada. Este padrão sazonal na evapotranspiração foi semelhantemente reproduzido pela  $ET_{SEBAL}$ , apresentando qualitativamente o mesmo padrão temporal ao longo do ano. As semelhanças nesta sazonalidade foram mais satisfatórias na estação seca, principalmente em outubro e dezembro, onde  $ET$  observada e estimada apresentaram valores iguais (Tabela 1). O fato de a nebulosidade ser menor nos meses da estação seca favorece uma maior precisão na estimativa da evapotranspiração gerada pelo SEBAL, uma vez que dados ópticos e termais obtidos por sensoriamento remoto apresentam limitações causadas principalmente pela cobertura de nuvens.

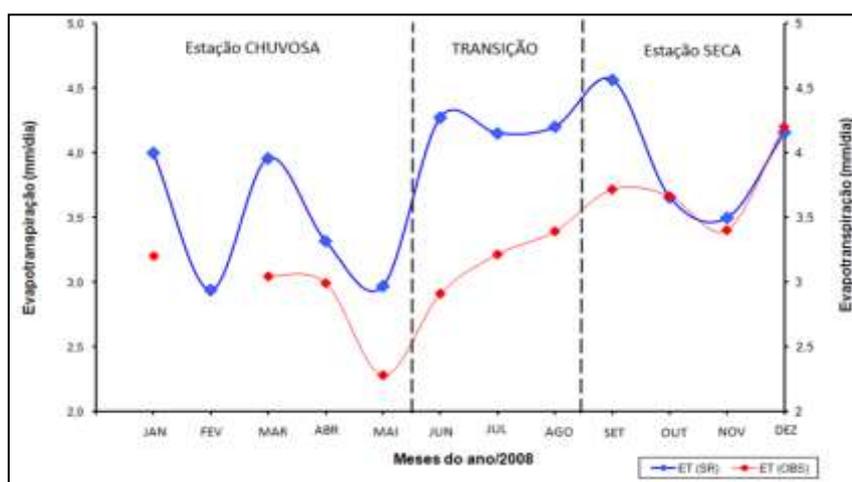


Figura 2 -  $ET$  média mensal em Caxiuanã para o ano de 2008. A  $ET_{OBS}$  foi calculada por eddy correlation (linha vermelha) e  $ET_{SEBAL}$  foi obtida pelo algoritmo (linha azul).



Tabela 1 - ET média obtida por eddy correlation, SEBAL e erro entre os dois métodos.

Período	Meses	ET <sub>OBS</sub> (mm.dia <sup>-1</sup> )	ET <sub>SEBAL</sub> (mm.dia <sup>-1</sup> )	Erro (%)	
ESTAÇÃO CHUVOSA	Janeiro	3,2	4,0	-25	
	Fevereiro	-----	2,9	-----	
	Março	3,0	4,0	-30	
	Abril	3,0	3,3	-11	
	Maió	2,3	3,0	-30	
	<b>Média</b>		<b>2,9</b>	<b>3,4</b>	<b>-24</b>
TRANSIÇÃO	Junho	2,9	4,3	-47	
	Julho	3,2	4,2	-29	
	Agosto	3,4	4,2	-24	
	<b>Média</b>		<b>3,2</b>	<b>4,2</b>	<b>-33</b>
ESTAÇÃO SECA	Setembro	3,7	4,6	-23	
	Outubro	3,7	3,7	0	
	Novembro	3,4	3,5	-3	
	Dezembro	4,2	4,2	0	
	<b>Média</b>		<b>3,7</b>	<b>4,0</b>	<b>-6</b>

Ressalta-se que o ano em análise (ano 2008) esteve influenciado pelo fenômeno La Niña, o qual favoreceu o aumento de chuvas na região da Amazônia Oriental. O total acumulado da precipitação para este ano foi 2392,3 mm (Figura 3), superando a precipitação média anual no sítio que é de aproximadamente 2000 mm. Outro fato que explica esta manutenção nas altas taxas de ET mesmo no período seco é que a reposição de umidade do solo durante os meses da estação chuvosa, normalmente fornece água suficiente para manter altas taxas de ET mesmo nos meses do período seco, suavizando os impactos dos déficits de precipitação neste período de pouca disponibilidade hídrica (NEGRÓN JUARÉZ et al., 2007). Isto é, o armazenamento de umidade do solo disponível para absorção da raiz pode ser suficiente para manter a taxa de evapotranspiração igual ou até mesmo maior do que na estação chuvosa, como já mostraram também Malhi et al., (2002), Sommer et al., (2002) e Souza Filho et al., (2005).



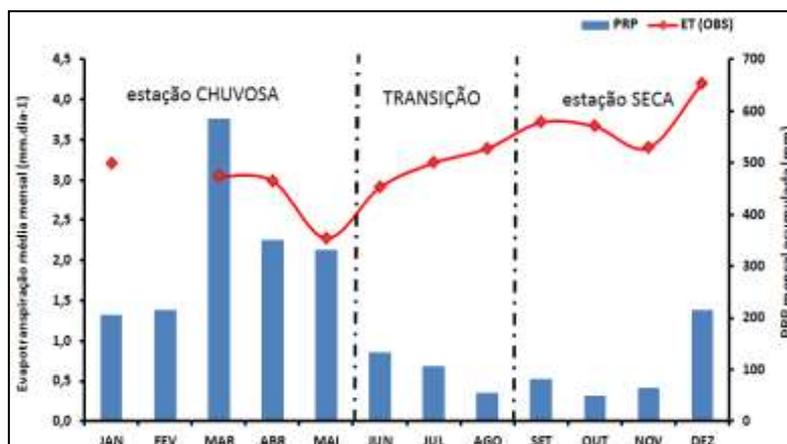


Figura 3 - Acumulado mensal de precipitação e ET média mensal por eddy correlation

Em outras palavras, se o déficit de chuvas durante a estação chuvosa for muito grande, resultará num armazenamento reduzido no reservatório de umidade do solo, o que pode indicar um possível impacto de baixa precipitação na estação seca subsequente. Portanto, a estação chuvosa desempenhou papel fundamental para que houvesse a manutenção das altas taxas de ET mesmo na estação seca. Este comportamento faz supor que nos meses com menor acumulado de precipitação, a transpiração pode ter sido a principal fonte para a ET da região, que por sua vez está ligada à produção primária da floresta. Esta manutenção desempenha papel central na determinação do início da estação chuvosa subsequente que irá ocorrer. Assim, uma melhor compreensão dos controles de ET da floresta, durante a estação seca é importante para prever o calendário e a variabilidade do início da estação chuvosa.

## CONCLUSÕES

O SEBAL apresentou boa capacidade de reproduzir qualitativamente a variabilidade sazonal da ET em Caxiuanã, principalmente nos meses da estação seca. O algoritmo demonstrou necessidade de ajustes em suas relações empíricas para melhorar sua capacidade em estimar taxa evapotranspirativa sobre áreas de floresta primária.

## REFERÊNCIAS

- BASTIAANSEN, W. G. M. et al. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate. **PhD. Dis., CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, the Netherlands.** 272 p. 1995.
- LISBOA, P. L. B. et al. Florística e Estrutura dos Ambientes. In: LISBOA, P. L. B. (Org.). **Caxiuanã.** Museu Paraense Emílio Goeldi, 1997. cap 4, p. 163-193. 2002b.
- MALHI, Y. et al. Energy and water dynamics of a central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v. 107, n. D20, 8061, 10.1029/2001JD000623. 2002.



XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – XVIII CBA  
2013 e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia  
Belém - PA, Brasil, 02 a 06 de Setembro 2013  
Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade  
Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia



MORAES, J. C. et al. **Estudos hidrometeorológicos na bacia do rio Caxiuanã**. In: Lisboa, P. L. B. (org.). Belém: CNPQ/Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 85-95. 1997.

NEGRÓN JUÁREZ, R. I. et al. Control of dry season evapotranspiration over Amazonian forest as inferred from observations at a Southern Amazon forest. **Journal of Climate**, n. 20, p. 2827-2839. 2007.

SOMMER, R. et al. Transpiration and canopy conductance of secondary vegetation in the eastern Amazon. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 112, n.2, p. 103-121. 2002.

SOUSA, A. M. L. et al. Estimativa da evapotranspiração real derivada do sensor MODIS: aplicação no leste da Amazônia. In: **SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS SUL-SUDESTE**, 2., 2007.

SOUZA FILHO, J. D. et al. Control mechanisms of the seasonal variation of transpiration in a northeast Amazonia tropical rainforest (in Portuguese), **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 223-229. 2005.

