



## CONTROLE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DURANTE O PERÍODO PLUVIOMÉTRICO DE TRANSIÇÃO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

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

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

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

<sup>3</sup> 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 deste trabalho foi analisar o saldo de radiação como controle da variabilidade sazonal da evapotranspiração (ET) em área de floresta primária na Amazônia Oriental, principalmente no período pluviométrico de transição (junho-setembro). Para isso, utilizaram-se dados obtidos por eddy correlation da torre micrometeorológica e de imagens do sensor Modis/Acqua, aplicados ao algoritmo SEBAL, para o ano de 2008. Os resultados observados indicaram que a variabilidade da evapotranspiração média em Caxiuanã aumenta da estação de transição para a estação menos chuvosa, concorrentemente com a sazonalidade do saldo de radiação. A variabilidade horária da ET é diretamente proporcional ao saldo de radiação, iniciando em torno das 07h30min local, com pico por volta das 13h00min. Os resultados revelam episódios de taxas altas de ET mesmo durante a noite, o que pode estar relacionado ao fluxo horizontal de ventos oriundo da Baía de Caxiuanã adjacente ao sítio de estudo. A ET estimada pelo SEBAL apresentou superestimativa com relação ao valor médio diário. No entanto, o padrão reproduzido pelo algoritmo gerou valores de ET muito semelhantes aos reportados para a região.

**PALAVRAS-CHAVE:** saldo de radiação. evapotranspiração. Amazônia.

## CONTROL OF EVAPOTRANSPIRATION DURING THE TRANSITIONAL RAINFALL SEASON IN THE EASTERN AMAZON

The objective of this work was to analyze the radiation balance as control of seasonal variability of evapotranspiration (ET) in the area of primary forest in the Eastern Amazon, especially in transitional rainfall season (June-September). For this, data were obtained by eddy correlation of micrometeorológica tower and Modis/Acqua image, applied to the algorithm SEBAL, for the year 2008. The results indicated that the observed variability of evapotranspiration in Caxiuanã increases from transition to less rainy season, concurrently with the seasonality of the radiation balance. The time variability of ET is directly proportional to the radiation balance, starting around the 07h30min local, with a peak at around 13h00min. The results reveal episodes of high rates of ET even overnight, which may be related to the horizontal flow of winds from the Caxiuanã Bay adjacent to the study site. The ET estimated by SEBAL presented overestimate with regard to the daily average value.





However, the pattern played by the algorithm generated ET values very similar to those reported for the region.

**KEYWORDS:** radiation balance. evapotranspiration. Amazon.

## INTRODUÇÃO

O entendimento sobre o saldo de radiação ( $R_n$ ) é fundamental na determinação da energia disponível em um sistema solo-planta por ser utilizado nos processos biofísicos. Dentre esses processos, destacam-se a evapotranspiração, trocas de calor sensível pela advecção do ar e fotossíntese. Os primeiros estudos sobre balanço de radiação em áreas de floresta foram realizados em latitudes médias (SHUTTLEWORTH et al., 1984). Porém, é nas regiões equatoriais dos continentes cobertos por florestas naturais, como a Amazônia, que se encontram as principais fontes de aquecimento da atmosfera. A partição de energia sobre superfícies vegetadas na floresta Amazônica tem sido estudada por vários pesquisadores nos últimos anos (SÁ et al., 1986; RIBEIRO, 1994) e estes têm procurado caracterizar a partição de energia disponível através dos fluxos de calor sensível e latente para entender como a superfície interage com o ar atmosférico. Entretanto, analisam somente a partição de energia em períodos característicos das condições seca ou chuvosa, mas não abordaram as características durante a transição entre esses períodos. Assim, este estudo aborda o papel do saldo de radiação no controle da evapotranspiração na Amazônia Oriental, para os meses de transição pluviométrica, a partir de dados observacionais e técnicas de sensoriamento remoto.

## 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 (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.



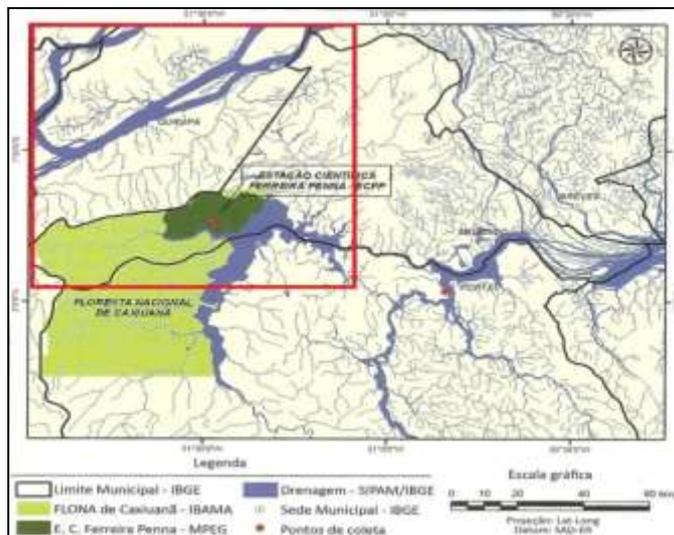


Figura 1 – Área de estudo (limites em vermelho), parte da FNCax.

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) e 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 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

Em média, o saldo de radiação foi maior nos períodos de transição e seco, com  $14,5 MJ.dia^{-1}$  e  $14,0 MJ.dia^{-1}$ , respectivamente, apresentando um pico no primeiro mês da estação seca (setembro, com  $15,7 MJ.dia^{-1}$ ). Isto pode ser explicado porque (i) do período de transição para a estação seca, os principais sistemas precipitantes da região não atuam de forma significativa; (ii) por consequência, o fato da região situar-se na faixa equatorial e da ausência significativa de nebulosidade, a radiação global incidente é maior. A partir do mês de dezembro, a região começa a experimentar a influência dos sistemas precipitantes, o que explica a queda acentuada no saldo de radiação, aumento na cobertura de nuvens e no acumulado da precipitação. A Figura 2 revela claramente que a variação sazonal no padrão da

evapotranspiração coincide com o aumento do saldo de radiação. Este achado ratifica a hipótese de que as maiores taxas de ET acontecem durante estação seca por terem como principal controlador o saldo de radiação à superfície. Comportamento semelhante foi revelado por estudos de Rocha et al. (2004) e Souza-Filho et al. (2005). No entanto, as análises destes autores indicaram também que existem outros diferentes fatores ambientais e de vegetação controlando a sazonalidade da ET.

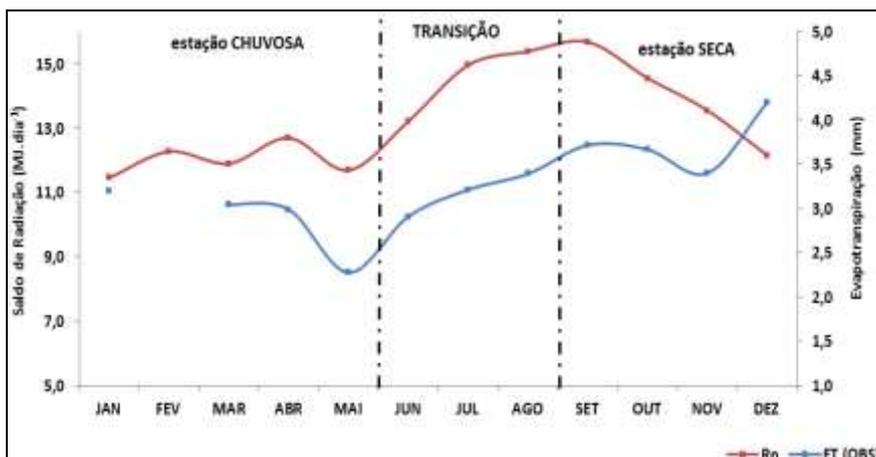


Figura 2 - Saldo de radiação médio mensal, em MJ.dia<sup>-1</sup> (linha vermelha) e evapotranspiração média mensal por eddy correlation, em mm.dia<sup>-1</sup> (linha azul), para Caxiuanã-Pará, ano 2008.

A Figura 3 ilustra a relação entre o saldo de radiação ( $R_n$ ) e a evapotranspiração (ET), num intervalo a cada 30 minutos, para um dia selecionado da estação de transição. No geral, os resultados evidenciam uma relação diretamente proporcional entre o saldo de radiação e a evapotranspiração, reforçando a hipótese de que, para a região da Amazônia Oriental, um dos principais controladores do padrão da ET é o saldo de radiação. Nota-se claramente que a transferência de vapor para a atmosfera tem início em torno das 07h30min local, atingindo o máximo às 13h00min. Próximo às 18h30min, o processo de evapotranspiração começa a diminuir, indicando o fechamento estomatal. É importante ressaltar que, em determinados dias, a ET registrou picos durante a noite. Isto pode estar relacionado ao fluxo horizontal de ventos, oriundos da Baía de Caxiuanã adjacente ao sítio de coleta de dados.

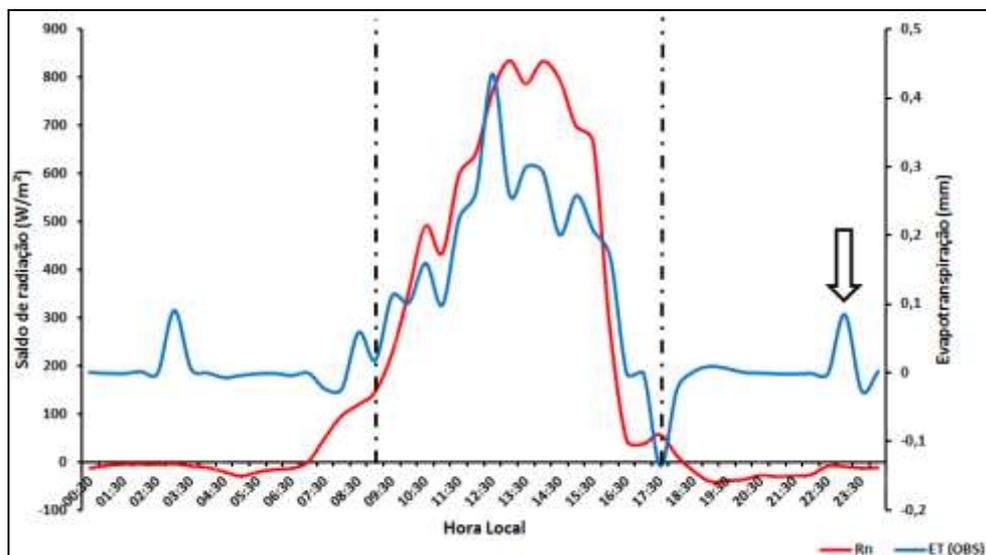


Figura 3 – Variação horária do saldo de radiação (linha vermelha) e evapotranspiração calculada por eddy correlation (linha azul) para o dia 03 de julho de 2008.

O saldo de radiação ao longo do dia tende a ser positivo, nas horas de brilho solar, porque os fluxos incidentes (global e atmosférico) são superiores às frações refletidas e emitidas. Por outro lado, durante a noite, é comum que esses valores sejam negativos, pois o fluxo incidente passa a ser apenas atmosférico e a energia emitida pela superfície superior a este, resultando em um saldo de radiação negativo. A análise horária do fator de desacoplamento, feita por Souza-Filho et al., (2005) sugere que a evapotranspiração em Caxiuanã durante a manhã tem um maior controle realizado pela disponibilidade de energia, quando comparado ao período menos chuvoso. Durante a tarde verifica-se que o dossel da floresta progressivamente tende a estar mais acoplado à atmosfera.

A ET diária espacializada pelo SEBAL referente à imagem 185 (03 de julho) é mostrada na figura 4. O valor da ET diária estimada foi de aproximadamente  $4,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ . Apesar de o SEBAL ter superestimado o valor da evapotranspiração em relação a ET obtida na torre, a diferença entre a ET estimada e medida foi de apenas  $0,8 \text{ mm.dia}^{-1}$ , uma vez que a  $ET_{OBS}$  registrou um valor médio de  $3,2 \text{ mm.dia}^{-1}$ . Neste período de transição, as diferenças entre a evapotranspiração diária estimada pelo SEBAL e ET medida na torre são menores porque a cobertura de nuvens para este período já é menos acentuada, o que favorece uma melhor simulação dos fluxos em superfície para modelos baseados em técnicas de sensoriamento remoto.

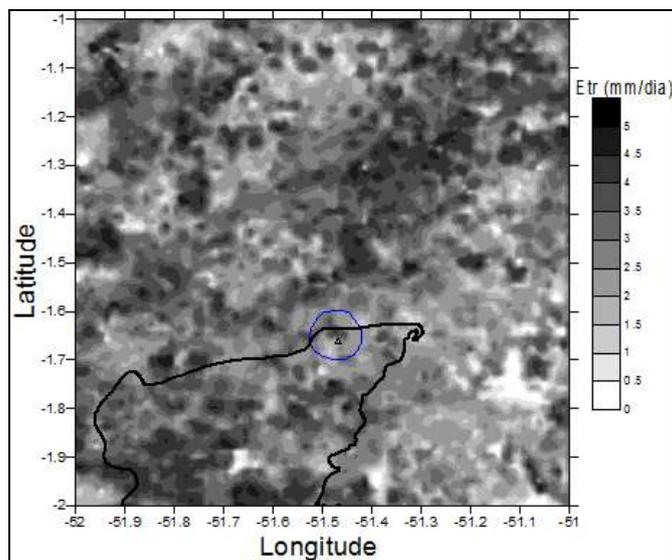


Figura 4 - Evapotranspiração diária espacializada pelo SEBAL, para o dia 03/07/2008. O contorno (linha preta) delimita a floresta de Caxiuanã e o círculo (linha azul) delimita o fetch da torre micrometeorológica, aproximadamente 6 km.

## CONCLUSÕES

Os resultados, na escala mensal e horária, revelam uma forte relação entre os componentes do balanço de radiação (na forma de saldo de radiação) e a evapotranspiração. Em resumo, a maioria dos estudos feitos na região da Amazônia Brasileira converge para a hipótese de que em ecossistemas de floresta, quando o solo dispõe de umidade suficiente, a maior quantidade de radiação solar global é utilizada pela floresta na evapotranspiração, na forma de calor latente e que a floresta emite menos calor sensível, mostrando que essa diferença se deve ao controle que a floresta exerce com relação às trocas de energia com a atmosfera, exercendo papel de destaque no equilíbrio térmico da atmosfera.

## REFERÊNCIAS

- SHUTTLEWORTH, W.J. et al. Observations radiation Exchange above and below Amazonian Forest. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, n.110, v.466, p. 1163 – 1169, 1984.
- SÁ, L. D. A. et al. Energy Flux Partitioning over the Amazon Forest. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 39, n. 1, p. 1-16, 1988.
- RIBEIRO, J. B. M. Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa**, 67 p, 1994.
- ROCHA, H. R. et al. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia, **Ecol. Appl.**, 14(4), S22–S32. 2004.



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*



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.

