

SAZONALIDADE DOS FLUXOS DE CALOR E UMIDADE NA AMAZÔNIA UTILIZANDO O MODELO INLAND

Guilherme MARTINS, Celso VON RANDOW e Gilvan SAMPAIO

Centro de Ciência do Sistema Terrestre/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE)
Cachoeira Paulista – São Paulo – {guilherme.martins, celso.vonrandow, gilvan.sampaio}@inpe.br

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo utilizar a versão pontual do modelo *Integrated Land Model* (INLAND) para simular os fluxos de calor latente e sensível, bem como os fluxos de umidade na Floresta Nacional do Tapajós (Santarém/Pará) entre os anos de 2002 e 2004. De uma forma geral, o modelo foi capaz de representar a sazonalidade dessas variáveis apesar dos valores simulados terem sido subestimados quando comparados com trabalhos que utilizaram dados observados para a mesma localidade de estudo, como por exemplo, o fluxo de calor latente foi 37% menor na estação chuvosa e 67% menor na estação seca.

ABSTRACT: The present work uses the unidimensional model *Integrated Land Model* (INLAND) to simulate the flow of latent and sensible heat and moisture fluxes in the Tapajós National Forest (Santarém/Pará) between the years 2002 and 2004. In general, the model was capable of representing the seasonality of these variables despite the values were underestimated when compared with studies using observed data to the same location of study, for example, the latent heat flux was 37% lower in the rainy season and 67% lower in the dry season.

1. INTRODUÇÃO

A dinâmica da floresta Amazônica tem papel fundamental para o funcionamento do sistema climático global e, além disso, tem papel importante na regulação do CO₂ atmosférico (HASHIMOTO *et al.*, 2010). Portanto, entender as respostas que a floresta Amazônica exerce sobre o clima é crucial para a previsão de futuras mudanças climáticas. Para melhorar o entendimento de possíveis causas que venham a perturbar o ecossistema florestal, utilizam-se os modelos numéricos. Esta ferramenta é útil quando se deseja avaliar a resposta dos ecossistemas frente a possíveis mudanças climáticas globais, ações antrópicas associadas ao desflorestamento e a ocorrência de fogo, uma vez que, dados observados principalmente na Amazônia são de difícil obtenção em virtude da sua localização geográfica. Portanto, estes modelos podem ser empregados como uma aproximação razoável das condições reais observadas. Sendo assim, este trabalho consiste em utilizar a versão pontual do modelo INLAND com o objetivo de simular os fluxos de calor e umidade na interface biosfera-atmosfera sobre a região amazônica, mas precisamente na Floresta Nacional do Tapajós (Santarém/Pará) no período de 2002 a 2004.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO E DADOS FORÇANTES

Os dados utilizados para a realização deste trabalho foram obtidos no sítio micrometeorológico da Floresta Nacional do Tapajós (FNT; 2°86'S, 54°96'W, 130 m situado no Estado do Pará) próximo do km 67 da estrada Santarém-Cuiabá. Este sítio faz parte do experimento *Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia* (LBA) e pode ser classificado como floresta primária devido à pouca influência antrópica. A altura média do dossel varia entre 40 e 45 m e as árvores podem alcançar 55 m de altura.

O período de dados da FNT compreende os anos de 2002, 2003 e 2004 e estão disponíveis a cada hora e podem ser obtidos gratuitamente no endereço <<http://www.climatemodeling.org/lba-mip/>>. Esta série de dados é composta pelas variáveis: temperatura do ar (K), umidade específica (kg kg^{-1}), velocidade horizontal do vento (m s^{-1}), precipitação ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$), pressão à superfície (Pa), radiação de onda curta e onda longa incidente (W m^{-2}) e concentração de CO_2 (ppmv). Estes dados foram obtidos pelo método de correlação de vórtices turbulentos o qual permite estudar a interação entre a superfície terrestre e a atmosfera. Este método se baseia em medidas de flutuações na velocidade do vento, nas concentrações de CO_2 e no vapor d'água, geralmente efetuadas em 10 Hz. Estas variáveis foram utilizadas como dados forçantes para realizar as simulações com o INLAND.

2.2. INTEGRATED LAND MODEL

É utilizada a versão unidimensional do modelo de vegetação dinâmica *Integrated Land Model* (INLAND). Este modelo é parte integrante do Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global sendo capaz de simular uma gama de processos da biosfera terrestre focando principalmente na representação dos ecossistemas brasileiros e da América do Sul. O INLAND foi gerado com base na unificação dos códigos dos modelos IBIS-SAGE (IBIS: *Integrated Biosphere Simulator* (FOLEY *et al.*, 1996) e SAGE: *Sustainability And the Global Environment*) e CCM3-IBIS (*The Community System Model Version 3* (CCSM3) do NCAR (*National Center for Atmospheric Reserach*)), conhecido como CCM3-IBIS. A estrutura deste modelo é composta por vários submodelos que trabalham em diferentes escalas de tempo. As simulações utilizam como dados forçantes: vento horizontal (m s^{-1}), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm/h), radiação de onda curta e onda longa incidente (W m^{-2}) e umidade relativa (%). Ressaltando que, para este trabalho, o modelo foi configurado para dados com resolução temporal a cada hora. Essa resolução pode ser alterada mediante modificações no código do modelo. Os parâmetros de configuração foram calibrados de acordo com Imbuzeiro (2005) que realizou diversas simulações em sítios micrometeorológicos na Amazônia.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A separação em estação chuvosa (de dezembro a julho) e seca (agosto a novembro) é a mesma proposta por da Rocha *et al.* (2009) que consideraram a distribuição sazonal da precipitação em FNT.

As Figuras 1a e 1b mostram a distribuição sazonal dos Fluxos de Calor Latente (LE) e Sensível (H) durante os três anos de simulação (2002 a 2004). Nestas figuras LE e H apresentaram variações ao longo do ano, com valores mínimos no início da estação chuvosa aumentando gradualmente até atingir os valores máximos na estação seca que coincide com a variação sazonal da radiação líquida e umidade do solo (DA ROCHA *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2010). Os valores mensais mínimo, médio e máximo de LE (H) foram: 24,7 (13,9), 58,2 (26,3) e 73,1 (60,2) $W m^{-2}$, respectivamente. Por outro lado, quando se observa a estação seca e a chuvosa, as médias de LE (H) encontradas foram: 60,0 (29,8) e 57,3 (24,5) $W m^{-2}$, respectivamente. A diferença entre estas estações mostrou que LE (H) foi aproximadamente de 4,7% (21,7%) menor em relação à estação chuvosa. Comparando o dado simulado de LE com da Costa *et al.* (2010) que obtiveram para a estação chuvosa e seca os valores de 96 $W m^{-2}$ e 101 $W m^{-2}$, respectivamente, o valor simulado na estação chuvosa foi inferior ao observado em aproximadamente 67% e na estação seca, este valor foi 68% menor. Sendo que, da Rocha *et al.* (2009) encontraram valores de LE (H) de 83 (18) $W m^{-2}$ na estação chuvosa e 96 (23) $W m^{-2}$ na estação seca. Ao comparar com o simulado na estação chuvosa, LE (H) foi 38% (73%) abaixo (acima) e na estação seca, LE (H) foi 67% (77%) abaixo (acima).

A sazonalidade da produção primária bruta (GPP, $kgC ha^{-1}$) e umidade do solo ($m^3 m^{-3}$) é mostrada nas Figura 1c e 1d. A variável GPP está associada com a absorção de carbono no dossel da vegetação e a umidade do solo representa o conteúdo de água disponível no solo. A GPP apresenta maior produtividade na transição entre o fim do período chuvoso e início do seco, e diminui gradativamente no final desta última estação. Os valores de GPP mínimo, médio e máximo foram: 149,3; 362,9 e 473,6 $kgC ha^{-1}$, respectivamente. A diferença no GPP em relação aos períodos seco (367,9 $kgC ha^{-1}$) e chuvoso (360,3 $kgC ha^{-1}$) foi de apenas 2,1% menor em relação à estação chuvosa. No que diz respeito à umidade do solo, os valores mínimo, médio e máximo foram: 337,9; 483,2 e 657,9 $m^3 m^{-3}$, respectivamente. A diferença entre a estação seca (412,3 $m^3 m^{-3}$) e chuvosa (518,6 $m^3 m^{-3}$) foi de 20,5% maior em relação à estação chuvosa. A umidade do solo apresenta valores máximos no início da estação chuvosa e valores mínimos na estação seca em decorrência da variação sazonal da radiação. De uma forma geral, o modelo foi capaz de representar satisfatoriamente a sazonalidade destas duas variáveis para FNT. Os resultados de GPP corroboram com os achados de Hutyra *et al.* (2007) que analisaram dados de torres micrometeorológicas na Amazônia do projeto LBA entre os anos de 2002 e 2006.

A Figura 1e apresenta a evapotranspiração (ET, $mm dia^{-1}$). A ET mínima, média e máxima foi: 0,9; 2,1 e 2,6 $mm dia^{-1}$, respectivamente. Os valores simulados de ET foram maiores na estação seca e menores na estação chuvosa (RANDOW *et al.*, 2012). A diferença entre estas estações (seca, 2,1 $mm dia^{-1}$

e chuvosa, 2,0 mm dia⁻¹) foi de 4,7% menor em relação à estação chuvosa. Nos estudos de Costa *et al.* (2010) foram encontrados valores de ET de 3,40 mm dia⁻¹ durante a estação chuvosa e 3,59 mm dia⁻¹ durante a estação seca. O dado simulado na estação seca (2,1 mm dia⁻¹) comparado com o resultado de Costa *et al.* (seco, 3,59 mm dia⁻¹ e chuvoso, 3,4 mm dia⁻¹) para o mesmo período foi de aproximadamente 58% menor. No caso da estação chuvosa (2,0 mm dia⁻¹) esta diferença também foi menor, aproximadamente 59%.

4. CONCLUSÕES

De maneira geral, o modelo INLAND foi capaz de simular satisfatoriamente a sazonalidade das variáveis analisadas para os períodos seco e chuvoso entre os anos de 2002 e 2004. Contudo, melhorias são necessárias para que o modelo possa representar adequadamente a complexidade de processos relacionados à interação biosfera-atmosfera. Apesar dos valores subestimados de algumas variáveis comparadas com dados observados, o modelo pode ser empregado para estudos sobre alterações associadas com o aumento na concentração do CO₂ atmosférico, dinâmica da vegetação e impactos de mudanças no regime de precipitação sobre os ecossistemas de floresta e de pastagem, como também de cerrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, M. H.; BIAJOLI, M. C.; SANCHES, L. *et al.* Atmospheric versus vegetation controls of Amazonian tropical rain forest evapotranspiration: Are the wet and seasonally dry rain forests any different? **Journal of Geophysical Research**, v. 115, n. G4, p. 1-9, 2010.
- DA ROCHA, H. R.; MANZI, A. O.; CABRAL, O. M. *et al.* Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, p. 1-8, 2009.
- FOLEY, J. A.; PRENTICE, C.; RAMANKUTTY, N. *et al.* An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 10, n. 4, p. 603-628, 1996.
- HASHIMOTO, H.; MELTON, F.; ICHII, K. *et al.* Evaluating the impacts of climate and elevated carbon dioxide on tropical rainforests of the western Amazon basin using ecosystem models and satellite data. **Global Change Biology**, v. 16, n. 1, p. 255-271, 2010.
- HUTYRA, L. R.; MUNGER, J. W.; SALESKA, S. R. *et al.* Seasonal controls on the exchange of carbon and water in an Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, n. G3, p. 1-16, 2007.
- IMBUZEIRO, H. M. A. **Calibração do modelo IBIS na Floresta Amazônica usando múltiplos sítios.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 67p., 2005.
- RANDOW, R. C. S.; VON RANDOW, C.; HUTJES, R. W. A.; TOMASELLA, J.; KRUIJT, B. Evapotranspiration of deforested areas in central and southwestern Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 109, n. 1-2, p. 205-220, 2012.

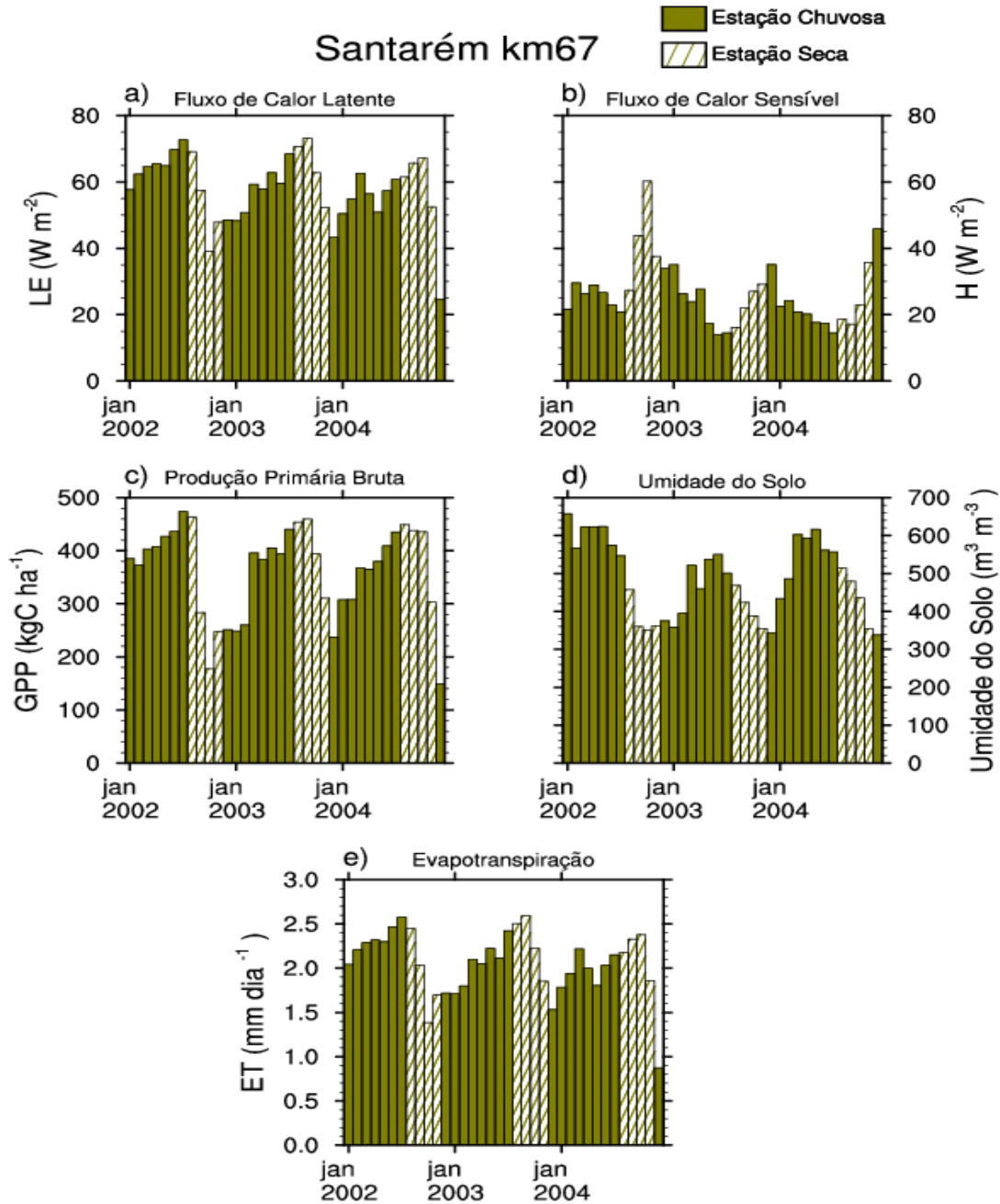


Figura 1 – Médias mensais de (a) Fluxo de Calor Latente (LE, $W m^{-2}$), (b) Fluxo de Calor Sensível (H, $W m^{-2}$), (c) Produção Primária Bruta (GPP, $kgC ha^{-1}$), (d) Umidade do Solo (Umidade do Solo, $m^3 m^{-3}$) e (e) Evapotranspiração (ET, $mm dia^{-1}$). A estação chuvosa (dezembro a julho) é representada pelas barras preenchidas e a estação seca (agosto a novembro) pelas barras listradas.