

# SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA AMAZÔNICA: BACIAS DO NEGRO, MADEIRA E PURUS

DANIEL C. VICTORIA<sup>1</sup>, MARIA VICTORIA RAMOS BALLESTER<sup>2</sup>, ANTONIO ROBERTO PEREIRA<sup>3</sup>, REYNALDO LUIZ VICTORIA<sup>4</sup>, JEFFREY E. RICHEY<sup>5</sup>

1 Eng. Agrônomo, doutorando, Lab. de Geoprocessamento e Tratamento de Imagens, CENA – USP, Piracicaba, SP, dvictori@cena.usp.br

2 Bióloga, Prof. Doutora, Lab. de Geoprocessamento e Tratamento de Imagens, CENA – USP, Piracicaba, SP

3 Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Departamento de Ciências Exatas, ESALQ – USP, Piracicaba, SP

4 Eng. Agrônomo, Prof. Titular, Lab. de Geoprocessamento e Tratamento de Imagens, CENA – USP, Piracicaba, SP

5 Oceanógrafo, Prof. Doutor, Oceanography Department, University of Washington, Seattle, WA

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

**RESUMO:** O modelo hidrológico VIC (Variable Infiltration Capacity model) foi aplicado em três grandes bacias Amazônicas: Negro, Madeira e Purus. A simulação para o período de 1981 a 1991 mostrou-se adequada, indicando que, para todas as bacias, a evapotranspiração (ET) é limitada pela menor disponibilidade de água durante a estação seca. A ET máxima nas bacias esta em torno de 4 a 5 mm dia<sup>-1</sup>. A bacia do Negro foi a única que não apresentou períodos com ET superior a precipitação, ou seja, entre 1981 e 1991 a bacia não apresentou déficit hídrico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amazônia, VIC, modelagem hidrológica

**TITLE:** Amazon hydrological modeling: Negro, Madeira and Purus basins

**ABSTRACT:** The VIC hydrology model was used for three basins in the Amazon region, Negro, Madeira and Purus. Results show that the model is suitable for the simulation and that, for all basins, ET was limited by water availability during the drought period. Maximum ET ranged from 4 to 5 mm day<sup>-1</sup>. The Negro basin was the only one that did not present water deficit (ET larger than precipitation) during the 1981 – 1991 simulation period.

**KEY-WORDS:** Amazon, VIC, hydrological modeling

**INTRODUÇÃO:** As profundas mudanças climáticas causadas pelo Homem podem trazer danos desastrosos ao ambiente e, a percepção destes problemas, vem aumentando na sociedade devido à divulgação dos recentes relatórios sobre o clima futuro (IPCC, 2007). Como consequência do aquecimento global, alguns dos efeitos esperados para a região Amazônica são alterações na temperatura, pluviosidade e umidade, com aumento no período de seca e maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos, modificando o ciclo hidrológico e o funcionamento da floresta (MARENGO et al., 2007). Neste contexto, a modelagem hidrológica permite compreender melhor o ciclo hidrológico para depois simular as possíveis alterações que este pode sofrer. O objetivo deste trabalho foi o de caracterizar as variações inter e intra anuais do ciclo hidrológico na Amazônia. Para tal, o modelo hidrológico VIC - Variable Infiltration Capacity (LIANG, 1994) foi aplicado na região durante o período de 1981 a 1991. Um problema comum nas simulações hidrológicas nesta

região é a estimativa da precipitação nos Andes, subestimada devido à escassez de medições aliada ao efeito orográfico, afetando a simulação para a bacia como um todo, uma vez que a descarga proveniente dos Andes corresponde a aproximadamente 33 % da descarga total da bacia (descarga média mensal de Santo Antônio do Içá / Óbidos). Portanto, neste trabalho são apresentados os resultados da simulação para três grandes sub-bacias dos rios Negro, Madeira e Purus, pouco afetados pela precipitação andina.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para a simulação da hidrologia da bacia Amazônica foi utilizado o modelo hidrológico VIC, com passo de tempo diário, de 1981 a 1991, e resolução espacial de 0,25°. O modelo usa como forçantes o clima, a cobertura vegetal e as características de solo. As forçantes climáticas necessárias para as simulações são precipitação, temperaturas máxima, mínima e vento, as quais foram obtidas no banco de dados mensal CRU05 v2.1 (MITCHELL & JONES, 2005) com resolução espacial de 0,50°, convertidos para 0,25° por interpolação linear. Os dados mensais foram convertidos para diários utilizando-se a reanálise climática do banco de dados GOLD/SA (DIRMEYER & TAN, 2001). Como os valores de precipitação da reanálise diária apresentam problemas, principalmente nas regiões Andinas, este passo permitiu inserir as variações diárias simuladas do banco de dados GOLD/SA aos totais mensais observados no banco CRU05. Como cobertura vegetal, utilizou-se o mapa produzido por EVA et al. (2004), com resolução espacial de 1 km, reamostrado para 0,25° calculando-se o percentual de cobertura para cada classe de uso em cada célula, uma vez que o modelo VIC permite o uso de coberturas fracionárias. As classes utilizadas foram: floresta, pastagem, rebrota e solo exposto. As características necessárias para a descrição da vegetação, como resistência estomática, área foliar mensal, albedo médio da cobertura, profundidade e distribuição das raízes no perfil do solo dentre outras foram obtidas da literatura, principalmente de GASH et al. (1996) e do banco de dados GLDAS (2004). O perfil de solo foi dividido em três camadas: 0-30, 30-100 e 100-300 cm. A primeira é utilizada, preferencialmente, na geração do escoamento superficial e o excedente drenado para a segunda camada. Nesta, a água é utilizada preferencialmente na transpiração, com o excedente sendo transportado para a camada 3. A água nesta última camada é perdida, principalmente, por drenagem sub-superficial. A característica do solo requerida pelo modelo é a textura espacialmente distribuída vertical e horizontalmente. Este mapa, obtido de MAYORGA (dados não publicados) foi derivado dos perfis de solo do banco de dados WISE/ISRIC (banco de dados online) para as regiões fora do território brasileiro, para cada uma das classes de solo presentes no mapa de solos da FAO (1981). Para o território brasileiro, dados de textura dos perfis do projeto RadamBrasil foram inseridos nas classes do mapa de solo do projeto RADAM (1978). O modelo foi calibrado de forma independente para as três bacias estudadas, comparado a descarga simulada dos rios Negro, Madeira e Purus, com a observada, provenientes do banco de dados do projeto CAMREX (INPE, 1998). Além da comparação visual entre a descarga simulada e observada, utilizou-se três coeficientes de ajuste para estimar a qualidade da simulação, Nash ( $r^2$ ), log Nash (rl) e a razão entre o volume simulado e observado (V), conforme COLLICHONN (2001).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A utilização das anomalias diárias nos totais mensais observados não corrigiu a sub-estimativa da precipitação sobre os Andes. A descarga mensal observada na bacia de Santo Antônio do Içá, que drena grande parte dos Andes, pouco difere da precipitação total mensal, convertida em  $m^3 s^{-1}$  (Figura 1), indicando a sub-estimativa da precipitação.

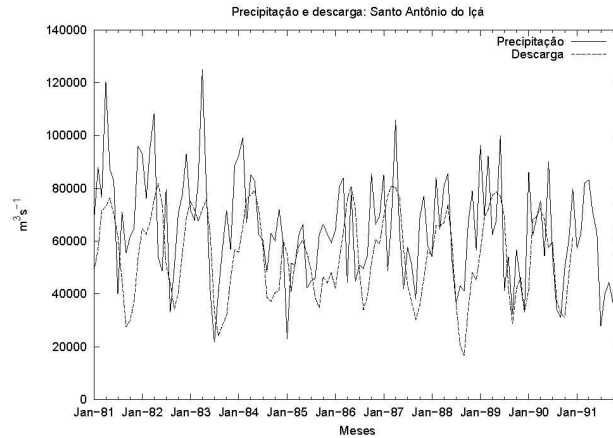


Figura 1. Precipitação e descarga mensais para a bacia de Santo Antônio do Içá

A simulação da descarga mensal dos rios Negro, Madeira e Purus apresentaram boa concordância com as descargas medidas (Figura 2a, b, c). Em relação aos outros rios, o Negro se destaca pelo ciclo invertido de vazões máximas e mínimas. Enquanto que a vazão máxima do Madeira e Purus ocorre no mês de março e a mínima em novembro, no Negro, as máximas ocorrem em junho e julho e as mínimas, fevereiro e março. Estes padrões são devidos às diferenças entre estações seca e chuvosa existentes nas bacias localizadas no hemisfério Sul (Madeira e Purus) e no hemisfério Norte (Negro) (Figura 2d). A precipitação anual média na bacia do Negro é de  $2455 \text{ mm ano}^{-1}$ , superior à precipitação na bacia do Purus e Madeira,  $2137 \text{ mm ano}^{-1}$  e  $1848 \text{ mm ano}^{-1}$ , respectivamente.

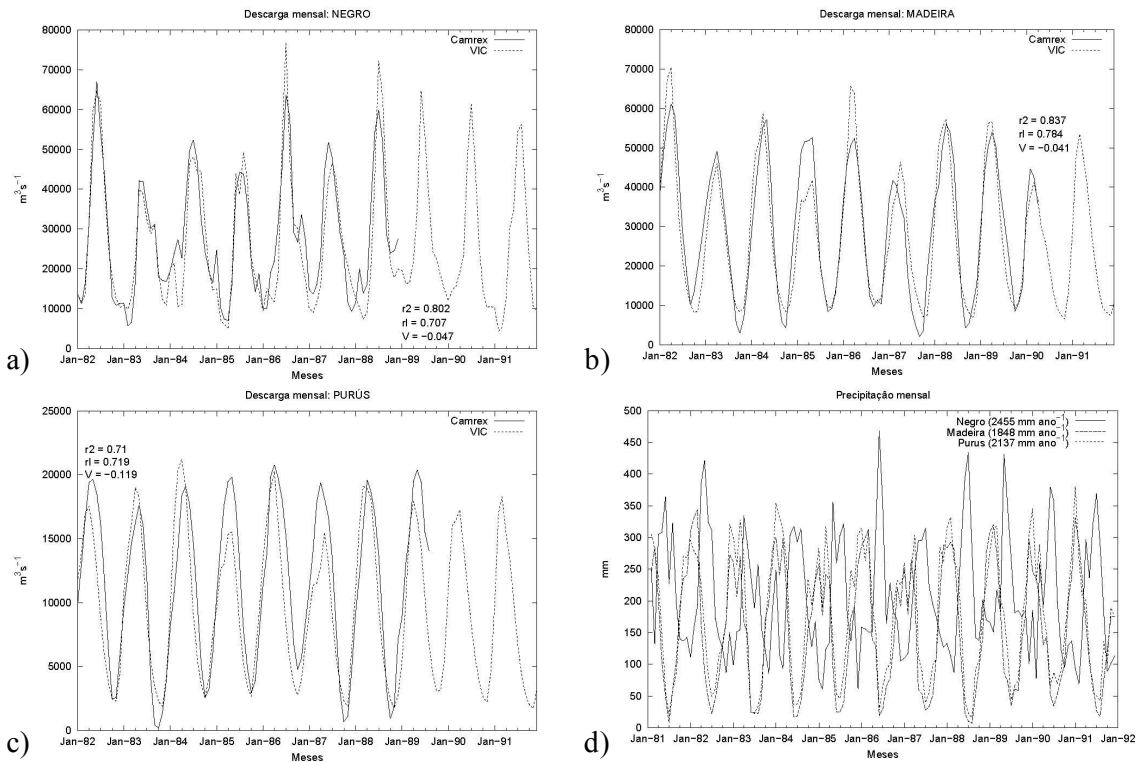


Figura 2. Descarga simulada e observada nas bacias do a) Negro, b) Madeira, c) Purus, e d) precipitação mensal das 3 bacias

A mesma sazonalidade observada na precipitação e descarga se repete na ET média das três bacias (Figura 3a), o que indica um controle da mesma pela quantidade de água disponível, com redução da ET durante as épocas secas (Figura 3b, c, d). A ET mínima nas bacias do Madeira e Purus ( $20 \text{ mm mês}^{-1}$  e  $34 \text{ mm mês}^{-1}$ , respectivamente, ambas em agosto de 1988) foi inferior à mínima na bacia do Negro (cerca de  $60 \text{ mm mês}^{-1}$  em fevereiro de 1985), uma vez que a estiagem no Negro é menos pronunciada. Apesar da ET mínima mais elevada, a bacia do Negro apresenta ET máxima mensal inferior às outras duas bacias ( $120 \text{ mm mês}^{-1}$  versus  $140 \text{ mm mês}^{-1}$ ). Em média, a ET anual do Negro pouco difere do Purus ( $1281 \text{ mm ano}^{-1}$  e  $1290 \text{ mm ano}^{-1}$ , respectivamente), enquanto que o Madeira apresenta ET anual inferior,  $1150 \text{ mm ano}^{-1}$  em média (Tabela 1). Nas três bacias, ET máxima, ou seja, potencial, ocorre nos meses com precipitação superior a  $200 \text{ mm}$ .

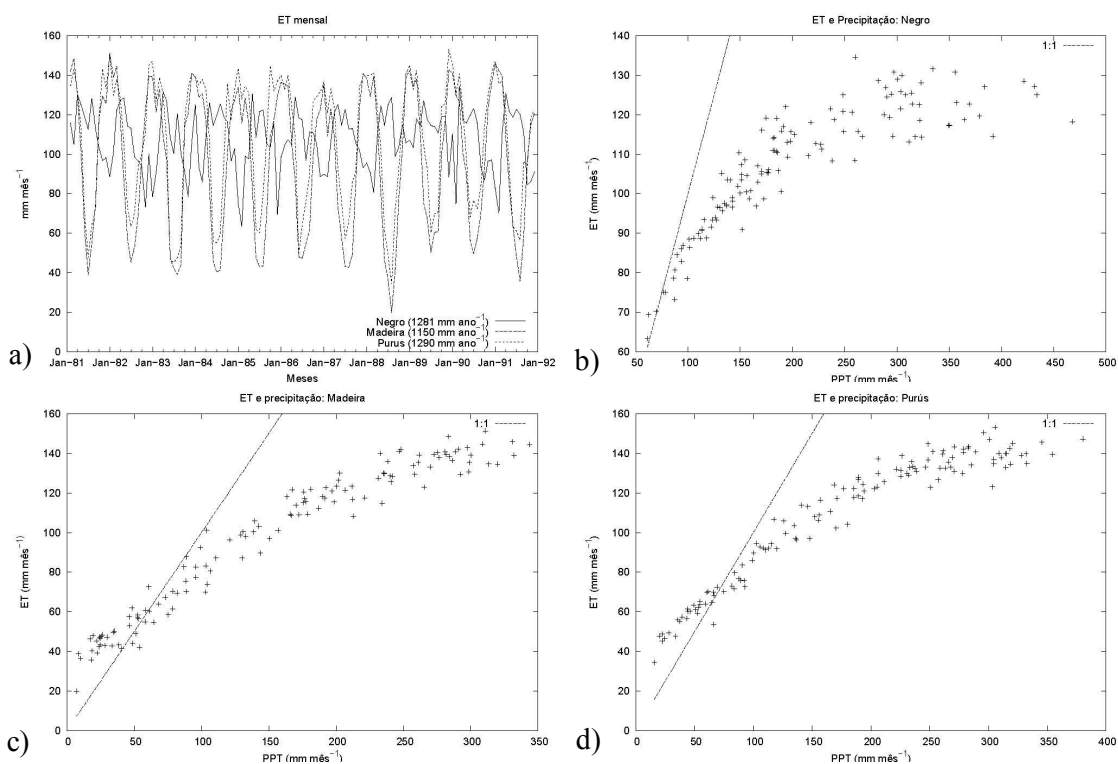


Figura 3. a) ET mensal das 3 bacias e relação entre a precipitação e ET mensal nas bacias do b) Negro, c) Madeira e d) Purus

Tabela 1. Precipitação e ET (entre parênteses) mínima, média, máxima mensal e média anual das bacias dos rios Negro, Madeira e Purus no período de 1981 a 1991.

	Mínima ( $\text{mm mês}^{-1}$ )	Média ( $\text{mm mês}^{-1}$ )	Máxima ( $\text{mm mês}^{-1}$ )	média anual
Negro	61 (63)	206 (107)	468 (134)	2455 (1281)
Madeira	7 (20)	154 (96)	344 (151)	1848 (1150)
Purus	16 (35)	178 (107)	380 (153)	2137 (1290)

A relação ET / precipitação nas bacias indica que no Negro, cerca de 50% da precipitação é evapotranspirada (média anual) e, raramente, a ET é superior à precipitação. Nas outras bacias, esta relação é de aproximadamente 60% (média anual), sendo comum valores acima de 1 durante a estiagem (Figura 5). Isto ocorre pois, na bacia do Negro, raramente observam-se precipitações mensais muito baixas, sendo a mínima  $61 \text{ mm mês}^{-1}$  em fevereiro de 1985. Nas outras duas bacias é comum a ocorrência de meses com menos de  $20 \text{ mm}$  de precipitação,

quando a água armazenada no solo é utilizada na ET, resultando em uma ET mensal superior à precipitação.

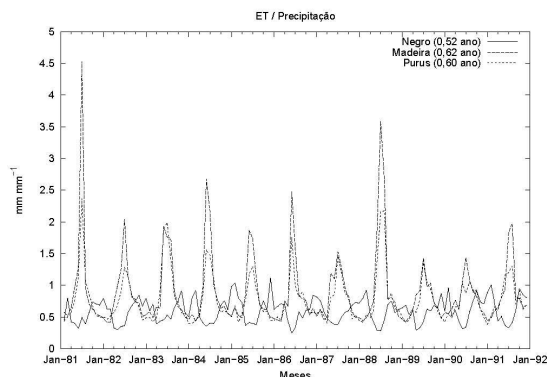


Figura 5. Razão ET / precipitação mensal nas bacias dos rios Negro, Madeira e Purus no período de 1981 a 1991

O período seco menos intenso, com ET mensal igual ou inferior à precipitação, reflete na sazonalidade da umidade do solo da bacia do Negro de forma distinta às outras bacias. Como no Negro não observamos um período prolongado onde ET depende somente da água do solo, esta bacia apresenta uma menor variação da umidade nas três camadas do solo (Figura 6a) e ausência do comportamento cíclico da umidade nas camadas 2 e, principalmente 3, característico nas outras bacias (Figura 6b). Este padrão cíclico ocorre pois, nos meses secos, a umidade do solo é removida pela ET, sem que haja recarga pelas chuvas. Com o início das chuvas, a umidade do solo é lentamente recomposta enquanto parte dela é utilizada na ET, resultando em uma defasagem entre as chuvas e a recarga da umidade, e no padrão cíclico.

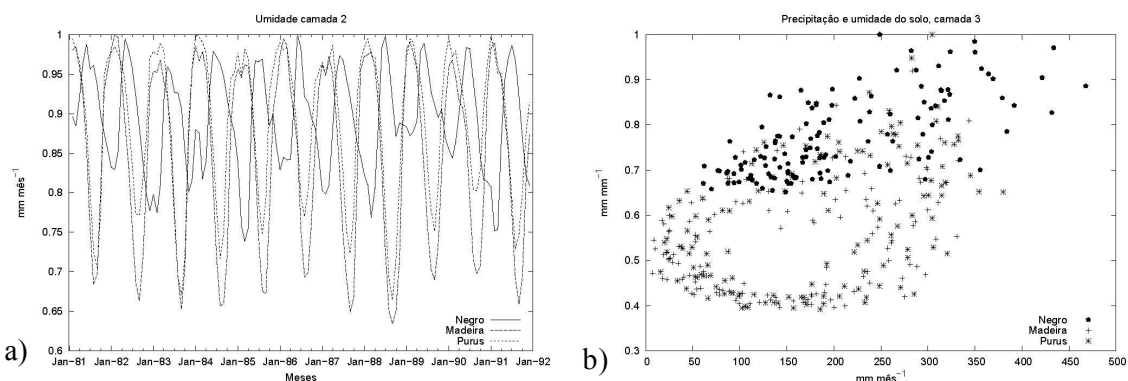


Figura 6. a) Variação da umidade do solo (2ª camada) e b) umidade do solo (3ª camada) e precipitação mensal nas 3 bacias

**CONCLUSÕES:** A sub-estimativa da precipitação na região andina impossibilita a modelagem hidrológica para toda a bacia amazônica, a não ser que alguma correção seja aplicada nas estimativas da precipitação sobre os Andes, corrigindo o efeito orográfico.

O modelo VIC se mostrou adequado para a simulação hidrológica das bacias do Negro, Madeira e Purus. Durante o período de 1981 a 1991, a precipitação sobre a bacia do Negro foi suficiente para manter à elevada ET, sem que as plantas dependessem somente da água armazenada no solo. Com isto, esta bacia não apresentou depleção da água armazenada no solo durante o período de menor pluviosidade, diferente das bacias do Madeira e Purus.

**AGRADECIMENTOS:** Ao CNPq, pela bolsa concedida ao primeiro autor, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento do Projeto Temático 13/13172-2, National Science Fundation pelo financiamento do projeto CAMREX, e NASA LBA ECO pelo financiamento do projeto CD06, do qual este trabalho é parte componente.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001, 181 p. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- DIRMEYER P. A. and TAN L. **A Multi-Decadal Global Land-Surface Data Set of State Variables and Fluxes**. COLA Technical Report 102. Agosto 2001.  
<http://www.iges.org/lba/gold.html>
- EVA, H.D.; BELWARD, A.S.; MIRANDA, E.E.; DI BELLA, C.M.; GOND, V.; HUBER, O.; JONES, S.; SGRENZAROLI, M.; FRITZ, S. A land cover map of South America. **Global Change Biology** 10 (5), 731–744, 2004.
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization), 1971-1981. Soil Map of the World, Vols. 1-10 (1:5M scale maps and accompanying texts). UNESCO, Paris.
- GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, M.J.; VICTORIA, R.L. **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. 611 p.
- GLDAS – **Global Land Data Assimilation Systems**. Online: <http://ldas.gsfc.nasa.gov/>
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Pre-LBA initiative CDRom data sets** (compact disc). Cachoeira Paulista: CPTEC, 1998.
- IPCC, Mudanças do Clima2007: a Base das Ciências Físicas, Sumário para os Formuladores de Política. 2007. Online, : <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/46909.html>
- MARENGO, J.A., NOBRE, C.A., SALATI, E., AMBRIZZI, T. **Caracterização do Clima Atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Sumário Técnico. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidades e Florestas. 2007.
- MITCHELL T.D. and JONES P.D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. **Int. J. Climatol.** 25: 693–712, 2005
- LIANG X, LETTENMAIER DP, WOOD EF, BURGESS SJ. A simple hydrologically based model of land surface, water, and energy fluxes for general circulation models. **J Geophys Res** 99 (D7): 14,415-14,428, 1994.
- RADAM Mapa exploratório de solos. Projeto Radambrasil: Programa de Integração Nacional, 1:1,000,000. Ministerio das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção, Rio de Janeiro. 1978
- WISE: World Inventory of Soils Emission Potential. Online:  
<http://www.isric.org/UK/About+ISRIC/Projects/Track+Record/WISE.htm>