

ESTIMATIVA E AVALIAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL A PARTIR DE UM MODELO HIDROLÓGICO

**SIDNEY FIGUEIREDO DE ABREU¹, EDMUNDO WALLACE MONTEIRO LUCAS¹,
FABRICIO DANIEL DOS SANTOS SILVA¹, MOZAR DE ARAUJO SALVADOR¹**

¹Meteorologista, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Brasília – DF, Fone: (0xx61) 3343 2192, emails: sidney.abreu@inmet.gov.br, edmundolucas@inmet.gov.br

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG

RESUMO: Diante da indisponibilidade dos dados de evaporação do tanque em muitas regiões agrícolas no país e das incertezas na estimativa da evapotranspiração potencial, este trabalho visa simular a vazão média mensal e estimar e avaliar a evapotranspiração real derivada de um modelo hidrológico conceitual chuva-vazão com diferentes dados de entrada no município de Altamira no Estado do Pará. O modelo hidrológico aplicado mostrou-se pouco sensível aos diferentes dados de entrada na estimativa da evapotranspiração real, apresentando bons resultados na simulação da vazão média mensal.

PALAVRAS-CHAVE: recursos hídricos e agricultura.

ESTIMATIVE AND EVALUATION OF THE ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION FROM A HIDROLOGIC MODEL

ABSTRACT: Due the unavailability of the pan evaporation data in many agricultural regions in the country and the uncertainties in the estimation of actual evapotranspiration, this work aims to simulate the average monthly flow and estimate the monthly actual evapotranspiration derived from a rainfall-runoff conceptual hydrological model with different input data in Altamira, state of Pará. The hydrologic model applied is insensitive to different input data in the estimation of actual evapotranspiration, showing good results in simulation of the average monthly flow.

KEYWORDS: water resources and agriculture.

INTRODUÇÃO: Os modelos hidrológicos com base mensal que utilizam as equações do balanço hídrico, denominados chuva-vazão, vêm sendo muito usado para compreender o complexo sistema solo-água-atmosfera, dando suporte ao gerenciamento dos recursos hídricos na agricultura, principalmente na avaliação sazonal de suprimento, demanda de água para irrigação e nos estudos de impactos de mudanças climáticas. Esses modelos em geral, usam como dados de entrada a precipitação pluviométrica, capacidade de armazenamento de água no solo, informações sobre a vegetação ou cultura agrícola. Em muitos casos a evaporação do tanque Classe A ou evapotranspiração potencial são usadas nos modelos para estimar a evapotranspiração real. Diante da indisponibilidade dos dados de evaporação em muitas regiões agrícolas no país e das incertezas na estimativa da evapotranspiração potencial, este trabalho tem como foco principal simular a vazão média mensal e discutir a evapotranspiração

real derivada de um modelo hidrológico conceitual chuva-vazão, desenvolvido por Xiong e Guo (1999), no Município de Altamira, com dados de entrada de evaporação do Tanque Classe A e evapotranspiração potencial estimada pelos métodos de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) e Hargreaves (Hargreaves e Samni, 1985).

MATERIAL E MÉTODOS

O Município de Altamira está localizado no Estado Pará, na latitude de 03°12'12'' S e longitude 51°12'23' W, com uma altitude de 109 metros, possui uma área de 161.445,9 Km², o que o torna o maior município do Brasil em extensão territorial, nele está localizada a volta grande do Rio Xingu onde no final desta, será construída a usina hidrelétrica de Belo Monte, com capacidade de gerar 11.182 MW. A agricultura (arroz, cacau, feijão, milho e pimenta do reino) é a principal atividade econômica do município além da pecuária e algumas populações ribeirinhas e comunidades indígenas que se sustentam basicamente da pesca.

Foram selecionados para este trabalho, dados consistidos mensais de vazões médias de 1975 a 2006, para Altamira, a partir do Inventário das Estações Fluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA, 2009). Os dados mensais de evaporação do Tanque Classe A e temperatura do ar média, máxima e mínima, no período de 2001 a 2006, para a estimativa da evapotranspiração potencial mensal, e os totais mensais de precipitação no período de 1975 a 2006 foram oriundos da estação meteorológica de Altamira (82353) do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

Modelo hidrológico mensal (XIONG E GUO, 1999)

Evapotranspiração real mensal do modelo: Os autores do modelo mensal de dois parâmetros sugerem que a equação de Ol'dekop (1911, citado por Brutsaert, 1992), seja multiplicada por um novo coeficiente "c" para estimar a evapotranspiração real mensal (Equação 1). Esse novo coeficiente c é o primeiro parâmetro do modelo.

$$ETR(t) = c \times E(t) \times \tanh[P(t) / E(t)] \quad (1)$$

onde: ETR(t) representa a evapotranspiração real, E(t) a evaporação do tanque classe A, P(t) a precipitação e tanh a função tangente hiperbólica.

Calculo da vazão mensal: A vazão mensal Q é relacionado com a quantidade de água no solo S. Neste trabalho, a vazão Q também é assumida como uma função tangente hiperbólica da quantidade de água no solo S o qual é determinado pela Equação 2:

$$Q(t) = S(t) \times \tanh[S(t) / SC] \quad (2)$$

onde, Q(t) é a vazão mensal, S(t) quantidade de água no solo e SC é o segundo parâmetro utilizado no modelo, no qual é expresso em milímetros e representa a capacidade de campo da bacia.

Métodos numéricos do modelo: Diante das séries de P(t) e ETR(t), a quantidade da água restante no solo será [S(t - 1) + P(t) - ETR(t)], com S(t - 1) que é a quantidade de água no fim do mês (t - 1) e no começo do mês t. A Equação (3) é usada então para calcular a vazão mensal Q(t) como:

$$Q(t) = [S(t-1) + P(t) - ETR(t)] \times \tanh\{[S(t-1) + P(t) - ETR(t)] / SC\} \quad (3)$$

Finalmente, o índice de água no fim do mês t, isto é S(t), é calculado de acordo com a lei de conservação de massa (Equação 4).

$$S(t) = S(t-1) + P(t) - ETR(t) - Q(t) \quad (4)$$

Determinação da quantidade de água no solo inicial: O valor de S(0) é assumido considerando que um ano seja um período razoável para o ciclo de algumas variáveis

hidrológicas, assim não deve ser muito diferente, por exemplo, entre dezembro de um ano e dezembro do ano seguinte, ou seja, $S(12)$ e $S(24)$ e assim por diante. Consequentemente, é razoável escolher $s(0)$ como um valor médio da quantidade de água no solo (equação 5), considerando todos os meses do ano.

$$S(0) \approx \sum_{j=i}^m S_j / m \quad (5)$$

onde $S(0)$ é a quantidade de água inicial no solo, m é o número de anos da série de dados do período de calibração, e N_c é o período de calibração em meses. Preliminarmente, o modelo proposto sugere que a quantidade inicial de água no solo $S(0)$ seja um valor entre 150 e 200 mm.

A otimização dos parâmetros c e SC e o desempenho do modelo foi testado por duas funções objetivas: o coeficiente de Nash-Sutcliffe (1970) das vazões calculadas e observadas (R^2) onde o valor esperado é sempre próximo de 1, para uma boa simulação da série de vazão observada e a diferença entre os volumes calculados e observados (∇V), onde é esperado ser próximo de zero para uma boa simulação das vazões observadas representadas pelas equações abaixo:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Q_{obs}(t) - Q_{cal}(t))^2}{\sum (Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (6)$$

$$\Delta V = \frac{\sum (Q_{cal}(t)) - \sum (Q_{obs}(t))}{\sum (Q_{obs}(t))} \quad (7)$$

onde: $Q_{obs}(t)$ é a vazão observada no intervalo de tempo (t), $Q_{cal}(t)$ é a vazão observada no intervalo de tempo (t), $\overline{Q_{obs}}$ é a média da vazão observada. Tendo em vista que o modelo hidrológico aplicado é extremamente parcimonioso, pois utiliza apenas dois parâmetros nas suas equações, foi possível aplicar ao modelo uma ferramenta do Excel, denominada “Solver”, que utiliza o método conjugado ou método de Newton para calibrar os parâmetros.

RESULTADOS E DISCUSSÕES: A precipitação e a vazão média mensal são mostradas na figura 1. De acordo com a figura, o município de Altamira experimenta um período chuvoso de dezembro a maio com os maiores volumes de chuva no mês de março e um período seco de junho a novembro, sendo o mês de agosto com os menores volumes de chuva. A vazão média mensal em Altamira acompanha o regime de chuva, com os extremos de vazão nos meses de abril (máximo) e setembro (mínimo), um mês após os extremos de precipitação. Isto demonstra que a resposta da vazão a precipitação (resposta hidrológica), tem o lag de 1 mês em Altamira.



Figura 1 – Precipitação e vazão média mensal em Altamira

Com base na Equação 1, do modelo hidrológico proposto, a evapotranspiração real média mensal em Altamira foi estimada com dados de evaporação do Tanque Classe A e com dados de evapotranspiração potencial estimado pelos métodos de Thornthwaite e Hargreaves, os resultados são mostrados na figura 2. De acordo com a figura, de um modo geral a evapotranspiração real não apresentou grandes diferenças na estimativa com os diferentes dados de entrada. No mês de fevereiro, o modelo aplicado com dados de evapotranspiração potencial subestimou a evapotranspiração real em aproximadamente 30 mm, comparados com a estimativa com dados do Tanque classe A. Durante o período seco, o modelo mostrou-se insensível aos dados de entrada na estimativa da evapotranspiração real.

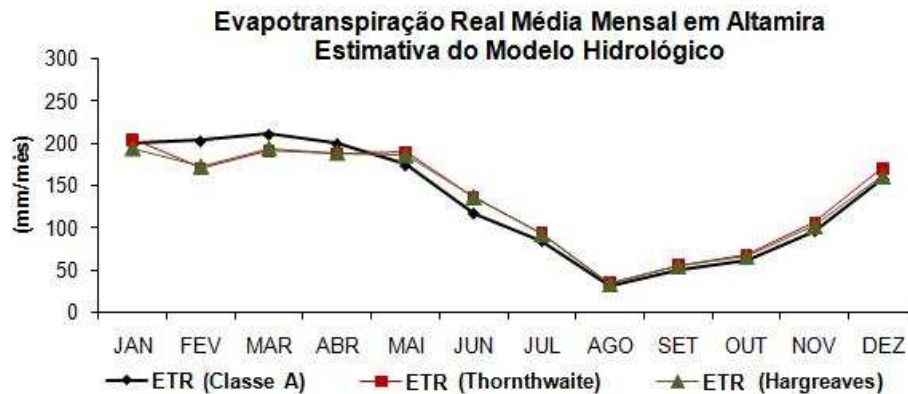


Figura 2 – Estimativa da Evapotranspiração real pelo modelo em Altamira

O modelo hidrológico foi aplicado com a média mensal de precipitação e evapotranspiração real estimada conforme descrito acima, os resultados são apresentados como MOD1 (dados do tanque Classe A), MOD2 (dados de evapotranspiração potencial de Thornthwaite) e MOD3 (dados de evapotranspiração potencial de Hargreaves). Informações sobre o valor inicial da quantidade de água no solo, os parâmetros c e SC e os valores de R^2 e ∇V , na aplicação do modelo estão descritos na tabela abaixo.

Tabela 1. Informações e valores de R^2 e ∇V na aplicação do Modelo Hidrológico

ALTAMIRA	S(0)	C	SC	R^2	∇V
MOD1	150	1,32	1200	0,98	0,01
MOD2	150	1,43	1500	0,93	0,06
MOD3	150	1,41	1500	0,94	0,05

Pode ser visto na Tabela 1 que, o parâmetro c do modelo foi maior que 1, em todas as simulações, ou seja, o modelo determinístico tende a superestimava da evapotranspiração real, principalmente quando utiliza na estimativa dados de evapotranspiração potencial (MOD1 e MOD2). O parâmetro SC variou entre 1200 e 1500 e a quantidade de água inicial no solo $S(0)$, foi de 150 mm, conforme recomendado pelos autores do modelo. Foi verificado na aplicação do modelo que, pequenas variações nos valores do parâmetro SC não provocam grande influência nos resultados, isto se justifica principalmente devido a magnitude do valor do parâmetro. O mesmo não foi verificado com relação ao parâmetro c do modelo.

A vazão média mensal para a estação de Altamira, simulada pelo modelo é mostrada na Figura 3, um fato importante a ser observado, e que, o modelo subestimou a vazão observada nos meses de março e abril que apresenta os maiores volumes de chuva, quando utilizou dados de evapotranspiração potencial (MOD2 e MOD3). Em ambas as aplicações (MOD1, MOD2 e MOD3), o modelo não simulou de forma eficiente a vazão média mensal na fase de transição do período seco para o chuvoso. Em geral, todas as aplicações simularam de forma

eficiente as vazões médias mensais durante o período seco. A simulação na aplicação do MOD 1, que utiliza dados de evaporação do tanque Classe A, foi o que apresentou os melhores resultados na simulação da vazão média em Altamira, com valores de R^2 e \bar{V} de 0,98 e 0,01 respectivamente.

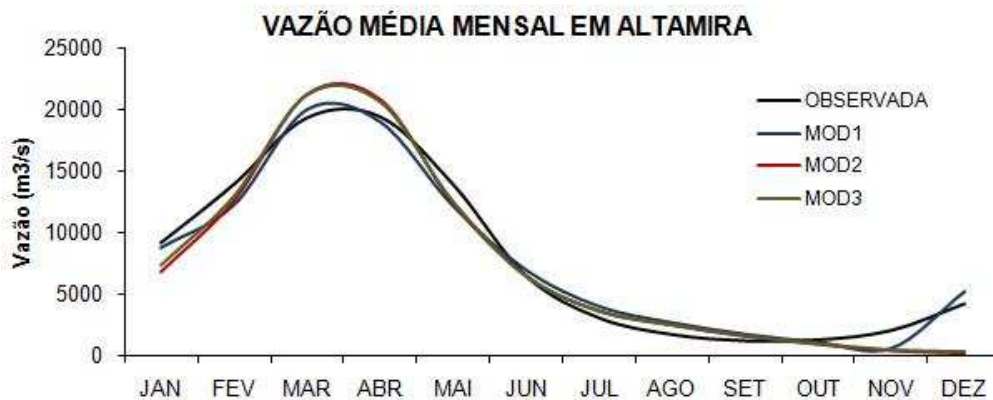


Figura 3 – Vazão média mensal observada e simulada pelo modelo hidrológico

Foi observada na simulação da vazão média e na estimativa da evapotranspiração real, utilizando os dados de evapotranspiração potencial à aplicação MOD3 (método de Hargreaves), apresentou melhores resultados em comparação com a aplicação MOD2 (método de Thornthwaite), isto se justifica devido o método de Hargreaves utiliza a temperatura efetiva do ar e o método de Thornthwaite apenas a temperatura do ar.

Durante a simulação verificou-se que o modelo hidrológico aplicado é sensível a mudanças bruscas da precipitação. Valores extremos de precipitação influenciam fortemente o armazenamento de água no solo do modelo, afetando conseqüentemente os resultados da simulação das vazões mensais.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES: O modelo hidrológico aplicado, mostrou-se pouco sensível aos diferentes dados de entrada na estimativa da evapotranspiração real, apresentando bons resultados na simulação da vazão média mensal. O modelo possui uma estrutura simples, com poucos parâmetros e pode ser utilizado no planejamento dos recursos hídricos na agricultura do município de Altamira, mesmo quando dados de evaporação do tanque Classe A não estão disponíveis, podendo ser substituídos por dados estimados de evapotranspiração potencial na sua aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Inventario das estações fluviométricas e pluviométricas*. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em maio 2009.
- BRUTSAERT, W., *Evaporation into the Atmosphere: Theory, History and Applications*. Cornell University Press, Ithaca, NY, 1992.
- HARGREAVES G.H., SAMNI Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1985.
- NASH, J.E.; SUTCLIFF, J. *River flow forecasting through conceptual models*, *Journal of Hydrology*, v. 10, p. 282-290, 1970.
- THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., *The water budget and its use in irrigation*. In *Water, The Yearbook of Agriculture*. US Department of Agriculture: Washington DC; 346-358, 1955.
- XIONG, L., GUO, S., *A two-parameter monthly water balance model and its application*, *Journal of Hydrology*, 216, 111-123, 1999.