

CALIBRAÇÃO DE UM MODELO HIDROLÓGICO PARA A BACIA DO SÃO FRANCISCO

José Alberto da S. Ferreira, Clóvis M. do Espírito Santo e– Antônio Ocimar Manzi

INPE – CPTEC Email: alberto, manzi@cptec.inpe.br

Abstract – A hydrologic model, originally developed by Vorosmarty et al. (1989), was used and calibrated to São Francisco Basin. The monthly behavior of the three basin dams discharges was simulated and taken into account for the basin calibration. The model output was compared to the monthly discharge measured at São Francisco River by DNAEE, which were is this work considered as ground truth data set. The achieved agreement suggests the feasibility of the model to incorporate the surface water reservoirs inside the São Francisco Basin.

1 - Introdução

O conhecimento do regime hídrico de uma região é muito importante para a sobrevivência de animais e vegetais. Vários métodos tem sido desenvolvidos para estimar o movimento da água entre os vários compartimentos da superfície. Um desses métodos, desenvolvido por Vorosmarty et al. (1989), consiste de um modelo completo de balanço e transporte de água (MBA/MTA). Como dados de entrada o MBA utiliza dados espaciais de variáveis meteorológicas, tipos de vegetação, de solos e de topografia e estima a umidade do solo, evapotranspiração real e escoamento superficial. Para a América do Sul, os autores encontraram grandes diferenças regionais e anuais nos campos estimados pelo MBA. O MTA utiliza as informações de escoamento superficial (geradas pelo MBA) e de roteamento para, através de um modelo linear de transferência de água superficial entre blocos adjacentes, calcular as descargas resultantes em qualquer canal da bacia hidrográfica. A validação dos valores estimados pelo modelo pode ser feita através de valores observados de descarga nos rios.

Ambos modelos, MBA e MTA, foram também utilizados na bacia do rio Zambezi, no sul da África, que é outro grande rio tropical (Vorosmarty et al. 1991). Ao contrário da bacia Amazônica, a bacia de Zambezi é muito seca e possui muitos pântanos. Os autores observaram que esta bacia é importante para o desenvolvimento de modelos hidrológicos globais pois esta tem sofrido grandes alterações, naturais ou não, como represamento de rios, uso e degradação da terra e etc. Estas alterações influem sobremaneira na parametrização dos modelos MBA e MTA. A região analisada neste artigo é a bacia do Rio São Francisco que possui três grandes represas que são: Três Marias, Sobradinho e Itaparica. Todas influenciam grandemente no regime de vazão do rio São Francisco.

2 - Descrição do modelo hidrológico

O modelo hidrológico utilizado (MBA/MTA) é do tipo distribuído, onde a bacia do Rio São Francisco, é subdividida em 230 blocos com dimensões de 0,5 x 0,5 graus. A chuva, que alimenta o sistema e que não é evapotranspirada umedece o solo até atingir sua capacidade de retenção máxima à profundidade das raízes. O excesso será, então, armazenado em um reservatório subterrâneo que alimentará, posteriormente, os cursos de água superficiais.

A evapotranspiração potencial (ETP) foi obtida através do método de Thornthwaite e Mater (1957) e a taxa real de evapotranspiração (ETR) dependerá das taxas de ETP e precipitação (P) segundo a seguinte metodologia:

$$ETR = ETP \quad \text{se } P \geq ETP \quad (1)$$

$$ETR = P - \Delta W \quad \text{se } P < ETP \quad (2)$$

onde ΔW é a variação da umidade no solo (mm) durante o intervalo de tempo considerado. A máxima quantidade de água que o solo pode armazenar em seus poros, C_{\max} , depende basicamente da

porosidade do solo (n) e da profundidade ($H_{\text{raízes}}$) das raízes da vegetação presente. Assim podemos escrever:

$$C_{\text{max}} \text{ (mm)} = 1000 \cdot n \cdot H_{\text{raízes}} \quad (3)$$

Enquanto o solo não se encharca totalmente (C_{max}), toda a água que nele chega é armazenada aumentando o seu teor de umidade (W_{solo}). A variação da umidade do solo depende da precipitação líquida (precipitação menos evapotranspiração) nele incidente. O teor de umidade no solo tende a aumentar caso a precipitação líquida seja positiva, ou diminuir se a taxa de evapotranspiração (ETP) suplantam a de precipitação (P). A partir do momento em que o solo se encharca totalmente ($W_{\text{solo}} = C_{\text{max}}$) o excesso de água incidente vai alimentar o reservatório subterrâneo e o teor de umidade no solo permanece constante. O reservatório de água subterrânea é o responsável pela alimentação dos cursos d'água. Para efeitos de modelagem considera-se uma função linear de transferência de água deste reservatório para os rios

Representação dos rios

O modelo de transporte utilizado exige um curso d'água superficial para cada bloco. É através destes cursos d'água que os blocos podem interagir, exportando ou recebendo água de blocos adjacentes. A conexão entre os blocos é descrita através de um arquivo de roteamento dos cursos de água. Este roteamento, para cada bloco, obedece a cursos reais dos rios (quando um curso d'água corta o bloco) ou a cursos fictícios (quando não há um curso d'água físico dentro do bloco) baseado em uma direção preferencial entre os 8 blocos adjacentes. Assume-se um modelo linear de vazão nos rios de forma que o fluxo de água saindo de um bloco (Q_{sai}) é proporcional ao volume de água contido no rio (V_{rio}). O fator de proporcionalidade K_{rio} tem dimensão de tempo⁻¹ e pode ser interpretado como o inverso do tempo de residência da água no rio dentro do bloco individual. A equação de balanço de massa para o rio pode ser escrita por:

$$\frac{dV_{\text{rio}}}{dt} = \sum_i Q_{e_i} - Q_{\text{sai}} \quad (4)$$

onde Q_{e_i} é a vazão proveniente dos blocos adjacentes.

3 - Metodologia e dados

Para inicializar o modelo, foram utilizados séries climatológicas de temperatura fornecidas pela UNESCO além de dados do tipo de solo, vegetação e relevo, este último obtido de mapas físicos.

Os dados climatológicos de precipitação e vazão obtidos em várias estações da bacia do São Francisco, foram fornecidos pelo Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE). As estações utilizadas na calibração do modelo foram as localizadas mais próximas da saída das represas. A tabela 1 apresenta as características das estações escolhidas e a figura 1 mostra as suas posições na bacia.

Tabela 1 - Estações utilizadas na calibração da bacia do São Francisco juntamente com as localizações, área de drenagem (Km²) e vazão total anual (m³/s).

Estação	Rio	Long	Lat	Drenagem (Km²)	Vazão anual (m³/s)
1	São Francisco	-44,95	-17,37	61880	10136
2	São Francisco	-40,63	-9,42	510800	32702
3	São Francisco	-36,83	-10,22	623500	31258

A estimativa da vazão de um rio, em um bloco qualquer, é obtida através de um modelo linear (equação 4). Neste modelo a taxa de descarga do rio é parametrizada para cada bloco levando-se em conta a declividade do bloco e número de blocos anteriores que contribuem para a sua vazão. A parametrização obedece a seguinte relação:

$$K = 4,7 \cdot \log(N) + 2,8 \cdot \log(D) + 24,22 \quad (5)$$

onde N é o número de blocos que contribuem para a vazão no bloco em questão e D é o gradiente médio do curso d'água. Devido ao efeito regulador das represas a taxa de descarga foi parametrizada com base no comportamento sazonal observado em cada estação.

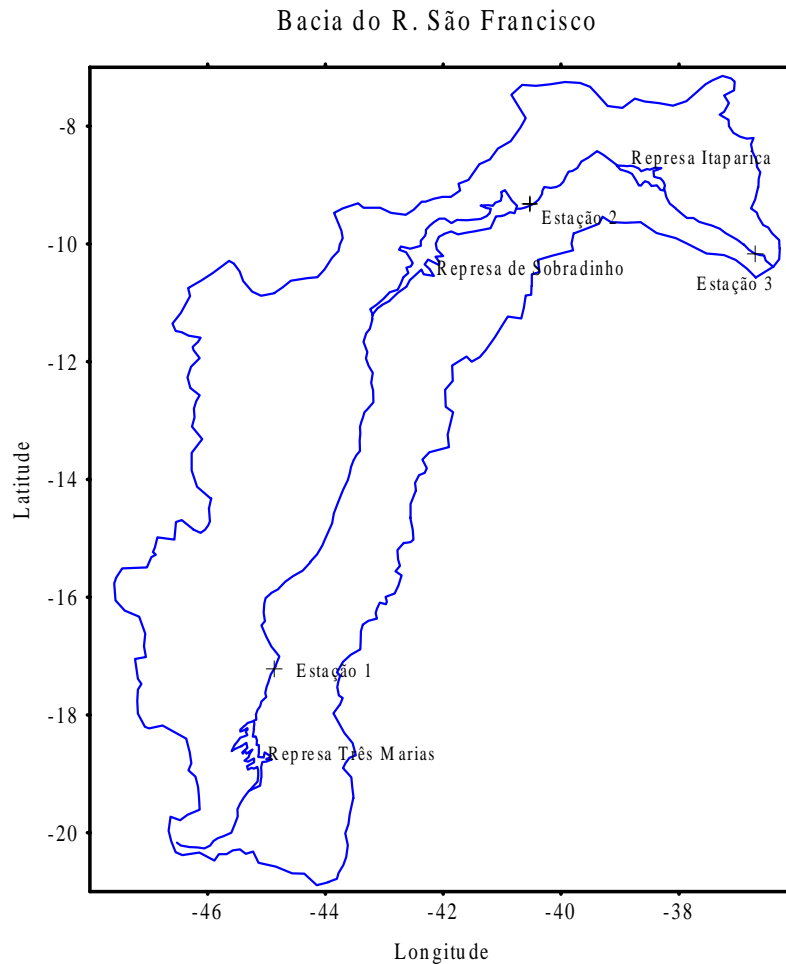


Figura 1 – Estações selecionadas na bacia do Rio São Francisco, para a calibração do MTA.

A parametrização utilizada, para estes casos, é a seguinte:

$$K_{ij} = k_a + \{k_b \cdot \text{seno}[\text{abs}(j - M) \cdot (\pi/12)]\} \quad (6)$$

onde k_a e k_b são os valores mínimo e máximo, respectivamente, da taxa de descarga do bloco, i e j correspondem ao número do bloco e mês considerado, respectivamente, e M o mês em que ocorre a vazão mínima observada.

Para avaliar o quanto as vazões mensais estimadas pelo modelo, com a nova parametrização, se aproximavam das observadas foi feito o seguinte teste:

$$\text{Desvio} = \sum_{i=1,12} [(V_{ei} - V_{oi})/V_{oi}]^2 / 12 \quad (7)$$

onde V_{ei} e V_{oi} correspondem aos valores da vazão no mês i estimada e observada, respectivamente. O mesmo teste foi feito entre a vazão anual estimada e observada, para cada estação analisada.

A calibração foi feita em etapas observando-se o sentido do rio, isto é, começando na represa 1 até a 3.

4 – Resultados

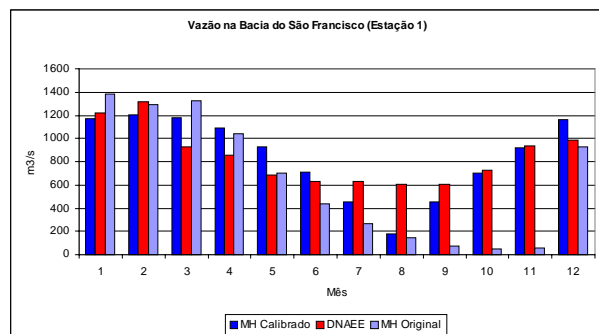
Para obter a ETP, escolhemos o método de Thornthwaite pois este envolve somente a temperatura do ar na superfície. O modelo, não calibrado, apresentou uma vazão total à saída da bacia de 35253 m³/s enquanto que o valor total observado pelo DNAEE foi de 31258 m³/s.

Os parâmetros utilizados na estimativa da vazão, são apresentados, juntamente com os valores dos desvios, na tabela 2.

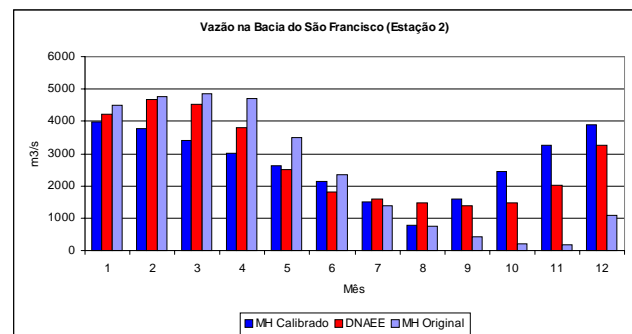
Tabela 2 – Valores, mínimos e máximos obtidos para a nova parametrização, desvios médios mensais, vazão observada e estimada e os respectivos valores dos desvios, para cada estação.

Represa	k _a	k _b	Desvio Médio Mensal	Vazão Total Observada (m ³ /s)	Vazão Total do Modelo (m ³ /s)	Desvio Anual
1	0,015	0,09	0,08	10136	10154	3,41x10-6
2	0,2	0,726	0,1	32702	32714	1,13x10-4
3	0,05	0,092	0,03	31258	31286	7,34x10-8

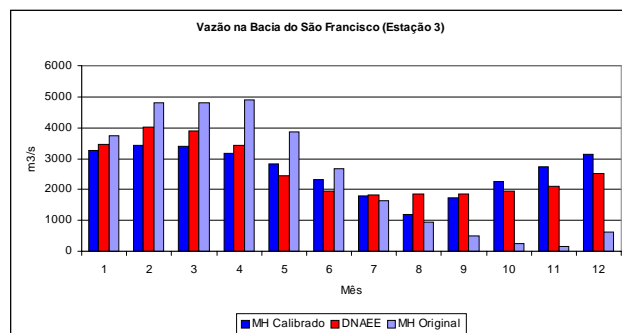
As vazões mensais observadas e obtidas pelo modelo com (I) e sem (II) a parametrização das represas são apresentados nas figuras 2a, 2b e 2c. É possível observar a grande diferença no comportamento mensal entre as vazões geradas pelo modelo nos casos I e II, para as três estações. Quando o modelo não leva em consideração as represas os valores estimados para os meses de agosto, setembro, outubro e novembro são muito baixos, com relação as vazões observadas. Quando há a representação das represas, as vazões nestes meses, estimada pelo modelo, tendem a se aproximar dos valores observados. Apesar disso, o mês de agosto sempre apresenta valores bem menores do que os observados devido a equação utilizada na parametrização (equação 6).



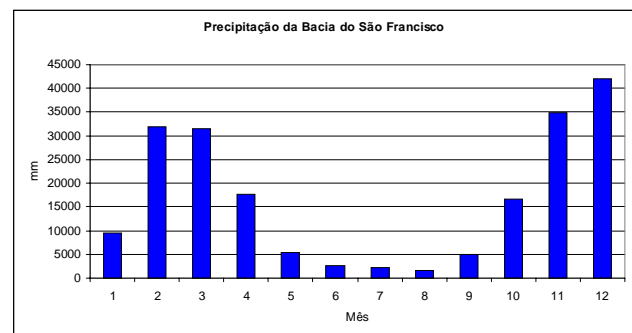
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2 – Vazões observadas (DNAEE), do modelo não calibrado e calibrado para as estações 1 (figura a), 2 (figura b) e 3 (figura c), juntamente com o regime de precipitação na bacia (figura d).

É possível observar, também, que o modelo no caso I tende a subestimar as vazões nos primeiros meses do ano e superestimar no final, com relação aos dados observados. O contrário ocorre quando do caso II. Este fato é devido a alteração da taxa de descarga que possui valores altos, pois representam um rio quando a parametrização não está modificada, ocasionando uma grande vazão no início do ano e que vai diminuindo gradualmente com o passar dos meses. Esta configuração se dá, também, em função do regime anual da precipitação que é apresentada na figura 2d. Nos primeiros meses a precipitação alta resulta em uma saturação do solo e, conseqüentemente, grande vazão nos rios. Já nos meses de abril a agosto, há uma diminuição da precipitação que é refletida na perda de umidade do solo (pois a evapotranspiração é alta nesta região) e na vazão dos rios. Nos últimos meses (setembro a dezembro), com o aumento da precipitação, a água em excesso (P-ETP) primeiro recarrega o solo e o excedente vai para os rios ocasionando um pequeno aumento na vazão nestes meses.

5 – Conclusões

O modelo hidrológico, baseado na metodologia proposta por Vorosmarty, usando dados climatológicos, e levando-se em conta a presença das represas na rede hidrográfica, pode reproduzir o regime de vazão apresentado pelos rios da bacia do São Francisco.

A equação utilizada para simular as represas demonstrou ser eficaz para tal mas ajustes devem ser feitos para melhorar os resultados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a cooperação do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) pelo fornecimento dos dados da bacia do São Francisco.

Referências bibliográficas

- THORNTHWAITE, C. W. and MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. **Drexel Institute of Technology, Publications in Climatology**, X(3), 1957.
- VOROSMARTY, C. J. and MOORE III, B. Modeling basin-scale hydrology in support of physical climate and global biogeochemical studies: an example using the Zambezi River. **Surveys in Geophysics**, 12(1-3), 271-311, 1991.
- VOROSMARTY, C. J., MOORE III, B., GRACE, A., GILDEA, M. P., MELILLO, J. M., PETERSON, B. J., RASTETTER, E. B., and STEUDLER, P. A. Continental-scale models of water balance and fluvial transport: an application to South America. **Global Biogeochemical Cycles**, 3(3), 241-265, 1989.