

AJUSTE DO MODELO HIDROLÓGICO DE GRANDES BACIAS À BACIA DO RIO SÃO MATEUS

Rochane de Oliveira Caram¹; Javier Tomasella¹; Anderson Sene Gonçalves¹; Aline Garcia Duarte¹; Márcio Augusto Ernesto de Moraes¹; Graziela Balda Scofield¹; Claudia de Albuquerque Linhares¹; Luiz Carlos Salgueiro Donato Bacelar¹

Resumo – O rio São Mateus, é formado pelo rio Cotaxé e Cricaré. A bacia do rio São Mateus abrange 23 municípios, sendo 11 no Espírito Santo e 12 em Minas Gerais. O crescimento desordenado das cidades causou a ocupação da região ribeirinha e da planície natural de inundação, tendo como consequência a recorrência de enchentes nesta bacia, concentradas principalmente no rio Cricaré. Contudo, o objetivo deste trabalho foi ajustar o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-INPE) para futuramente seu uso na previsão de vazões na bacia do rio São Mateus, historicamente afetado por severas enchentes. Diferentes informações da bacia foram fornecidas ao MGB-INPE, tais como, informações topográficas, mapas tipos de solos e vegetação. Além destas, foram utilizados dados hidrológicos e climáticos para a calibração do modelo no período de 2001 a 2011. O ajuste do modelo à bacia do rio São Mateus foi satisfatório, entretanto, observam-se algumas deficiências na representação das vazões máximas.

Palavras-Chave – modelo hidrológico, bacia do rio São Mateus, enchentes.

ADJUST OF THE HYDROLOGICAL MODEL THE BASIN LARGE IN SÃO MATEUS WATERSHED RIVER

Abstract – The São Mateus river, is formed by the Cotaxé and Cricaré river. The Sao Mateus river basin covers 23 cities, including 11 in the Espírito Santo and 12 in Minas Gerais. The disorderly growth of cities caused the occupation of the riverside region and the flood natural plain, resulting in the recurrence of floods in this basin, mainly concentrated in the Cricaré river. However, this aim os this work was adjust of the Hydrological Model the Basin Large (MGB-INPE) for future use in streamflow forecasting in the São Mateus basin, historically affected by severe floods. Different information in the basin were used to provided to the MGB-INPE, such as topographic information, soil types and vegetation maps. Besides these, were used climatic and hydrologic data for the calibration of the model in the period 2001 to 2011. The adjust of the model to Sao Mateus river basin was satisfactory, however, there were some deficiencies in the representation of maximum streamflow.

Keywords – hydrologic model, São Mateus river watershed, floods.

INTRODUÇÃO

O rio São Mateus, cujas nascentes estão localizadas em Minas Gerais, a cerca de 1000m de altitude, é formado pelo rio Cotaxé (braço norte) e pelo rio Cricaré (braço sul) e possui 15 afluentes. A bacia hidrográfica do rio São Mateus abrange 23 municípios, sendo 11 no Espírito Santo e 12 em

¹ Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais – Cemaden (rochane.caram@cemaden.gov.br; javier.tomasella@cemaden.gov.br; anderson.sene@cemaden.gov.br; aline.duarte@cemaden.gov.br; márcio.moraes@cemaden.gov.br; graziela.scofield@cemaden.gov.br; claudia.linhares@cemaden.gov.br; luiz.bacelar@cemaden.gov.br)

Minas Gerais. As principais atividades econômicas desenvolvidas na bacia são: a agropecuária, indústrias de mineração (extração de granito e petróleo), destilaria de álcool, e, além disso, há na região grandes áreas de reflorestamento, incluindo a produção de eucaliptos. Entretanto, nos últimos cinquenta anos a bacia tem sido alvo de um acelerado e indiscriminado processo de desmatamento. Atualmente, a região está quase toda desprovida de cobertura vegetal nativa e apresenta muitos focos de erosão. Nas encostas dos Planaltos Dissecados ocorrem com frequência muitos desmoronamentos de terra, nas colinas, nos patamares de topos aplainados, e nos tabuleiros, predomina a erosão laminar. Para o rio São Mateus e seus afluentes esse quadro é sinônimo de assoreamento que provoca enchentes e impede a navegação (Agência Nacional de Águas, 2012).

As enchentes e as inundações são dois fenômenos naturais extremos com uma enorme força destruidora que ocorrem repentinamente, provocando impactos diretos sobre as populações ribeirinhas, sendo os seus efeitos súbitos e rapidamente perceptíveis. O crescimento desordenado das cidades gerou a ocupação da região ribeirinha e da planície natural de inundação, tendo como consequência a recorrência de enchentes na bacia do rio São Mateus, concentradas principalmente no braço Sul (rio Cricaré). De acordo com os documentos do Banco de Dados de Registros de Desastres (Defesa Civil Brasil), os municípios desta bacia mais atingidos pelas enchentes foram Mantena (MG), e Água Doce do Norte (ES), Barra de São Francisco (ES) e Nova Venécia (ES), no período de 2001 a 2012. Devido ao histórico de desastres ocorridos nestes municípios, os mesmos fazem parte dos municípios monitorados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (Cemaden).

Contudo, ressalta-se a importância de se implantar sistemas de previsão e alerta para o controle de enchentes, que objetiva prever com relativa antecedência o nível de aumento do rio, e avisar as populações ribeirinhas com antecedência para que desocupem as áreas sujeitas as inundações.

Considerando as frequentes enchentes na bacia do rio São Mateus, este estudo tem por objetivo ajustar o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias desenvolvido no Instituto de Pesquisas Espaciais (MGB-INPE) para posteriormente seu uso na previsão de vazões na bacia do rio São Mateus, historicamente afetado por severas enchentes, com vistas a sua utilização num sistema de alerta para a mitigação de impactos de desastres naturais.

DADOS E METODOLOGIA

A bacia do rio São Mateus tem área de drenagem de 13.482 km², sendo 57% no Estado de Espírito Santo e 43% no Estado de Minas Gerais. A vazão média anual na foz é de 86,9 m³.s⁻¹. A região da bacia tem, basicamente, dois tipos climáticos: o tropical úmido (chuvoso) nas proximidades do litoral, e o tropical sub-úmido com estação seca no inverno nas cabeceiras. Assim sendo, o índice pluviométrico anual médio que varia de 1300 mm, na faixa litorânea, a 800 mm, perto das nascentes (Agência Nacional de Águas, 2012). A Figura 1 mostra a localização da bacia hidrográfica do rio São Mateus em relação aos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo e a Figura 2 mostra a hidrografia da bacia e a localização dos municípios monitorados pelo Cemaden.

O modelo hidrológico utilizado neste estudo é uma versão desenvolvida a partir do Modelo de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (MGB-IPH) (Collischonn *et al.*, 2007) que modificou as rotinas de estimativa de evaporação e de separação de fluxos, aqui denominada MGB-INPE (Tomasella *et al.*, em fase de elaboração). A parametrização do MGB-INPE combina a formulação probabilística de distribuição de colunas de água nos pontos de grade como no modelo

Xinanjiang (Zhao, 1992; Zhao; Liu, 1995) com os princípios utilizados no TOPMODEL (Beven; Kirkby, 1979) para simular a resposta hidrológica. Ambas metodologias correlacionam a resposta hidrológica da bacia com padrões de auto-organização observados na grande escala, seguindo uma abordagem *downward*. A resposta hidrológica é representada dentro de cada célula utilizando uma distribuição probabilística de reservatórios de diferentes capacidades. A posição do nível freático é calculada no modelo como uma proporção da quantidade d'água em excesso sobre a capacidade de campo em cada reservatório, seguindo a formulação do modelo DHSVM (WIGMOSTA *et al.*, 2002). A perda d'água por interceptação é no modelo através da metodologia proposta por Gash *et al.*, (1995). A captura d'água da vegetação desde o solo é resolvida considerando o modelo de distribuição de raízes de Jarvis (1989).

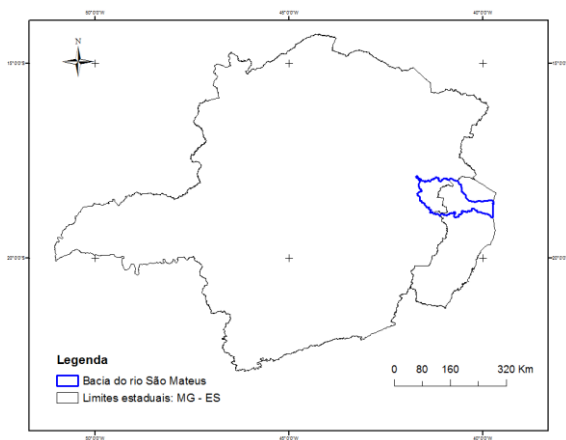


Figura 1. Localização da bacia do rio São Mateus dentro dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo

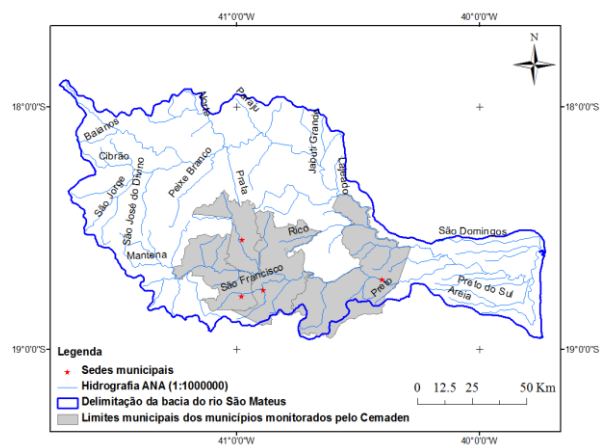


Figura 2. Bacia do rio São Mateus, hidrografia, limites e sedes municipais dos municípios monitorados pelo Cemaden

O modelo está subdividido em módulos que resolvem o balanço d'água no solo, a evapotranspiração, os escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo em cada célula e o escoamento na rede de drenagem. Nele a bacia é sub-dividida em uma grade de células regulares, comunicadas por canais de drenagem representando a rede de drenagem da mesma. O transporte d'água ente células é realizado exclusivamente através da rede de canais, considerando a metodologia de Muskingum-Cunge para o traslado da onda (Tucci, 1998). Neste estudo, foram definidas células com dimensão de 5 km x 5 km. Cada célula está dividida em blocos de uso do solo, que resultam da combinação da vegetação e do tipo do solo. O modelo utiliza como informação as percentagens de cada tipo de bloco dentro da célula, compondo os fluxos totais na célula através de uma média ponderada por estas percentagens. O MGB-INPE gera valores diários de vazão em diferentes pontos dentro da bacia.

Para implementar o modelo hidrológico à bacia do rio São Mateus foram utilizados diferentes bases de dados. Os dados climatológicos, tais como, temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica, radiação solar, velocidade do vento e precipitação foram obtidas das seguintes instituições: INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), CPTEC/INPE (Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos), dentre outras. Para utilização destes dados, foi feita uma interpolação dos mesmos na mesma grade do modelo hidrológico (5 km x 5 km). Além destes, foram utilizados os dados de vazões diárias de oito (8) postos fluviométricos provenientes da ANA (Agência Nacional de Águas), e a partir destes postos, a bacia foi dividida em oito (8) sub-bacias. A Figura 3 apresenta a rede de drenagem discretizada em células de 0.05 (5 x 5 km) e as sub-bacias.

As informações topográficas foram obtidas do SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission (disponível em <http://srtm.csi.cgiar.org>), na resolução de 90 metros, seguindo a metodologia de Paz e Collischonn (2007, 2008). A partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT) obtiveram-se as seguintes informações: MNT de baixa resolução (5 km), direções de fluxo, área acumulada, drenagem, delimitação das sub-bacias, extração da declividade e comprimentos dos trechos do rio.

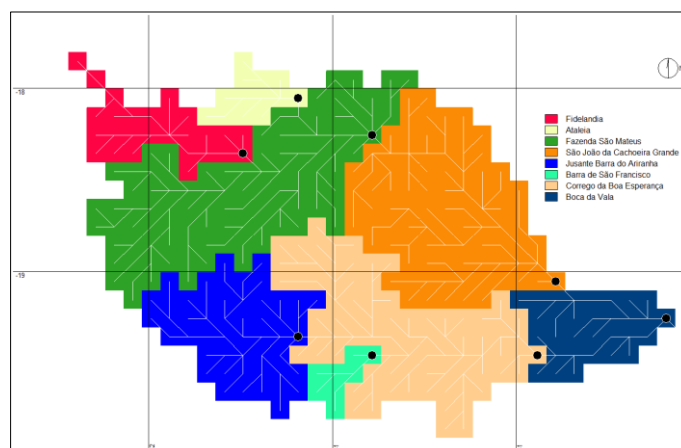


Figura 3. Rede de drenagem discretizada em células de 0.05 (5 x 5 km) e as sub-bacias da bacia do rio São Mateus.

Os dados de vegetação foram retirados do trabalho do PROVEG-INPE (Sestini *et al.*, 2002). Os tipos de solo foram obtidos da combinação de um levantamento de solos e grupos de texturas feitas pelo Projeto RADAM (Radar na Amazônia) e pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), essas informações foram complementadas com uma base de dados de mais de 800 curvas de retenção em todo o Brasil, e assim, foram calculados os parâmetros de texturas para 12 tipos de solos. Os mapas de vegetação e tipos de solos (textura) foram combinados para gerar os blocos, o que resultou em seis (6) blocos diferentes para a bacia.

O modelo foi alimentado com dados climáticos observados diários, referentes ao período de 01 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2011, que se trata do período de calibração do MGB-INPE. Optou-se por este período mais recente, tendo em vista que o modelo será utilizado posteriormente para previsão de vazões.

Para avaliar a calibração foram consideradas as seguintes funções objetivas: o coeficiente de Nash Sutcliffe das vazões diárias (NSE); o coeficiente de correlação das vazões diárias (R^2); o coeficiente de correlação dos logaritmos das vazões diárias (R_{log}); e, erro relativo de volume baseado na integração das vazões diárias (ΔV). Os dois primeiros anos não são considerados no cálculo das estatísticas, pois o modelo necessita de um período de aquecimento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A calibração do MGB-INPE foi realizada de acordo com os postos fluviométricos selecionados para o estudo. A Tabela 1 apresenta os resultados das funções objetivas para cada sub-bacia, para o período de calibração do modelo hidrológico.

Tabela 1 – Postos fluviométricos utilizados e avaliações estatísticas da calibração do MGB-INPE

SB	Código	Nome do posto	Município/Estado	Rio	Área de drenagem (km ²)	NSE	R ²	R _{log}	ΔV
1	55779000	Fidelândia - Montante	Ataléia/MG	São Mateus braço norte	781	0.43	0.49	0.60	0.19
2	55790000	Ataléia	Ataléia/MG	Santa Cruz	424	0.66	0.66	0.61	-0.01
3	55800005	Fazenda São Mateus	Ecoporanga/ES	São Mateus braço norte	4.170	0.70	0.72	0.77	0.19
4	55850000	São da Cachoeira Grande	São Mateus/ES	São Mateus braço norte	6.930	0.58	0.70	0.79	-0.26
5	55884990	Jusante Barra do Ariranha	Mantena/MG	São Mateus braço sul	1.490	0.24	0.30	0.42	0.23
6	55900000	Barra de São Francisco	Barra de São Francisco/ES	São Francisco	214	0.58	0.58	0.51	-0.04
7	55920000	Córrego da Boa Esperança	Nova Venécia/ES	São Mateus braço sul	4.190	0.74	0.75	0.80	0.06
8	55960000	Boca da Vala	São Mateus/ES	São Mateus	12.000	0.81	0.81	0.86	-0.02

Na Tabela 1 se observa que, de maneira geral, o ajuste do modelo é muito bom nas sub-bacias 3, 4, 7 e 8, as funções NSE, R² e R_{log} têm valores sempre acima de 0,70, exceto o NSE da sub-bacia 4 que apresentou um valor de 0,58. Os erros de volumes são muito baixos para as sub-bacias 7 e 8, enquanto nas sub-bacias 3 e 4 os erros de volumes estão muito altos.

As sub-bacias 1, 2 e 6 se ajustaram de maneira regular, uma vez que as funções objetivas NSE, R² e R_{log} atingiram valores acima de 0,40 e apenas a sub-bacia 1 apresentou um erro de volume muito alto. A maior dificuldade de ajuste do modelo foi para a sub-bacia 5, que trata-se de uma bacia de cabeceira.

Os hidrogramas diários resultantes da calibração das sub-bacias 4, 7 e 8 estão apresentados na Figura 7. As sub-bacias 4 e 7 representam o trecho do rio Cotaxé (braço norte) e o do rio Cricaré (braço sul) da bacia do rio São Mateus, respectivamente. De um modo geral, o modelo apresentou um resultado satisfatório em ambas sub-bacias, ajustando-se bem vazões mínimas. Entretanto, podemos observar algumas deficiências na qualidade do ajuste para os picos de vazão.

Nota-se que o modelo apresenta os melhores resultados nas sub-bacias com maior de drenagem. A sub-bacia 8, que representa a área total da bacia, obteve-se os melhores resultados da funções objetivas. Além disso, o hidrograma diário da mesma ajustou-se bem as vazões mínimas e máximas.

O posto fluviométrico da sub-bacia 7, localiza-se no município de Nova Venécia/ES. Este município sofreu muitas enchentes nos últimos 10 anos (2001 a 2011) de acordo com os documentos do Banco de Dados de Registros de Desastres (disponível em: <http://150.162.127.14:8080/e-soll.ceped.aspx>), foram registradas as seguintes enchentes: Novembro de 2001; Janeiro de 2002; Janeiro de 2004; Março de 2005; Dezembro de 2006; Novembro de 2007; Fevereiro de 2008; Outubro de 2009 e Dezembro de 2010. A Figura 8 apresenta os hidrogramas diários das vazões (observada e simulada) e a precipitação observada, em alguns períodos de enchentes registradas em Nova Venécia/ES.

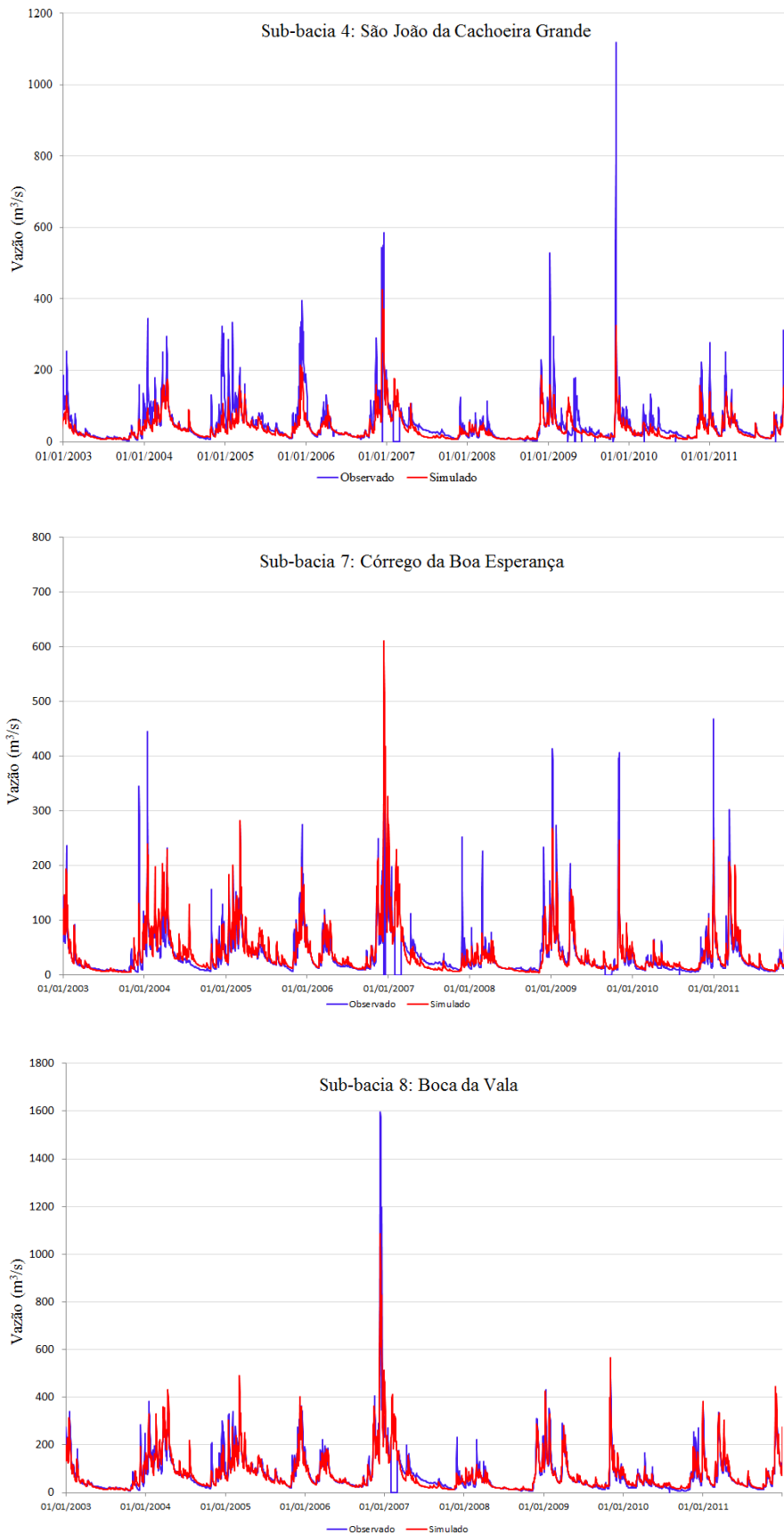


Figura 7. Hidrogramas diários das vazões (observada e simulada) dos postos fluviométricos das sub-bacias 4, 7 e 8, respectivamente.

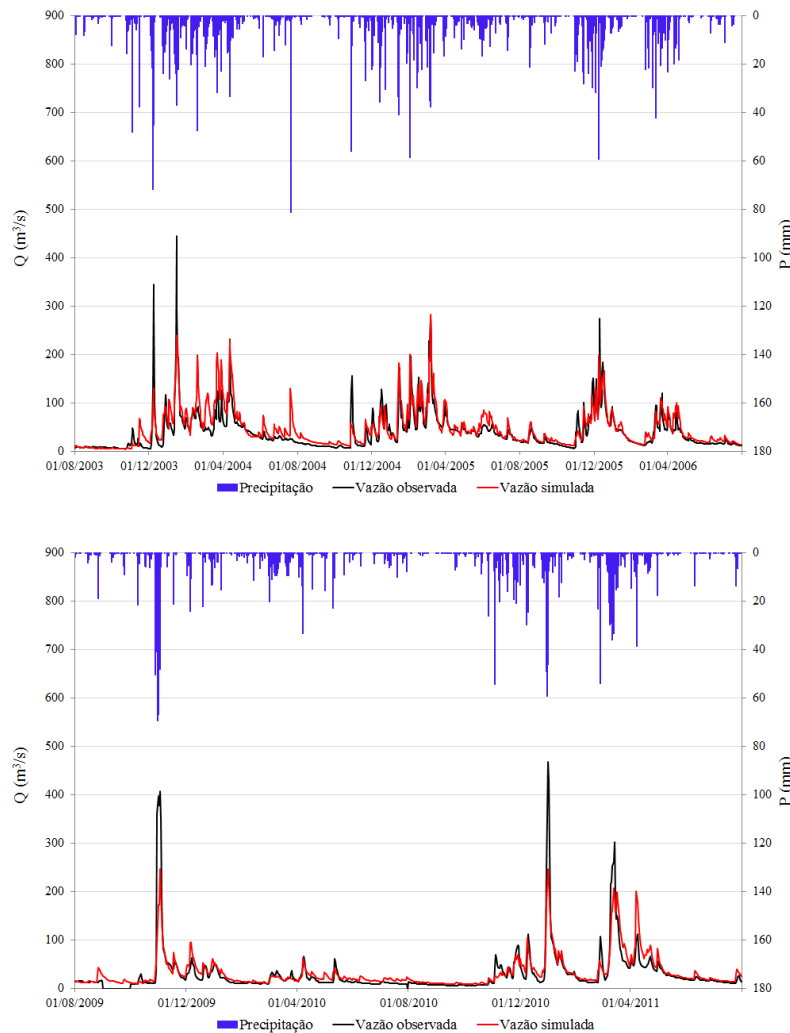


Figura 8. Hidrogramas diários das vazões (observada e simulada) e a precipitação observada para o posto fluviométrico da sub-bacia 7.

Podemos observar que para as enchentes registradas em Janeiro de 2004, Outubro de 2009 e Dezembro de 2010 o modelo não conseguiu simular a mesma vazão observada, subestimando bastante o pico de vazão. Apenas na enchente de Março de 2005 o modelo alcançou o pico de vazão.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ajuste do modelo MGB-INPE à bacia do rio São Mateus apresentou um desempenho satisfatório, indicando que o modelo pode ser aplicado à bacia.

Porém, para o seu uso na previsão de vazões são necessários correções na calibração e nas condições iniciais no modelo para obter melhores resultados nos picos de vazões. Portanto, a continuidade desta pesquisa é muito importante para a sua utilização num sistema de alerta hidrológico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Cemaden e o CNPq (402240/2012-0) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Hidroweb - Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/doc/BHASLeste> >. Acesso em janeiro de 2012.

BEVEN, K.J.; KIRKBY, M.J. A physically based variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrological Sciences Bulletin*, v. 24, p. 43-69, 1979.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.G.; SILVA, B.C.; TUCCI, C.E.M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*, v. 52, p. 878-895, 2007.

GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; LACHAUD, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, v. 170, p. 79-86, 1995.

JARVIS, N.J. A simple empirical model of root water uptake. *Journal of Hydrology*, v. 107, p. 57-72, 1989.

PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W. River reach length and slope estimates for large-scale hydrological models based on a relatively high-resolution digital elevation model. *Journal of Hydrology*, v. 343, p. 127-139, 2007.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. Derivação de rede de drenagem a partir de dados do SRTM. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 2, p. 84-95, 2008.

SESTINI, M. F. Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos. São José dos Campos: INPE, 2002.

SILVA, B.C.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T.; CORBO, M.D. Previsão Hidroclimática de Vazão de Curto Prazo na Bacia do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 3, p. 31-41, Jul/Set. 2007.

TUCCI, C.E.M. *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 669 p. 1998.

WIGMOSTA, M.S.; NIJSSEN, B.; STORCK, P.; LETTENMAIER, D.P. The Distributed Hydrology Soil Vegetation Model, In *Singh, V.P.; Frevert, D.K. (Ed.) Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*. Littleton, CO: Water Resource Publications, 2002, p. 7-42.

ZHAO, R.J. The Xinanjiang model applied in China. *Journal of Hydrology*, v. 135, p. 371-381, 1992.

ZHAO, R.J. AND LIU, X.R. The Xinanjiang model. In *Singh, V.P. (Ed.) Computer Models of Watershed Hydrology*. Highlands Ranch: Water Resources Publication, 1995. p. 215-232.