

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE EQUAÇÕES EMPÍRICAS PARA PREVISÃO DE VAZÃO DURANTE UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO INTENSA NA BACIA DO RIO MURIAÉ EM MARÇO DE 2018

*Marcos Figueiredo Salviano*¹

ABSTRACT – With the increasing social and economic impacts of flooding in urban areas caused by population growth and lack of habitation planning, hydrological models are an alternative for forecasting and hence mitigation of impacts. An example is the project *Sistema de Alerta Hidrológico do rio Muriaé* (SAH-Muriaé), which is a flood warning system where empirical discharge flow propagation equations are used for the prediction of downstream discharges. This project use stage gage and accumulated rainfall data from five automatic hydrological with a frequency of measurements of 15 minutes. During the period between 8th and 9th of March 2018, an intense rainfall in the basin caused floods in some cities and made possible to verify the efficiency of the current model. It was verified that the efficiency of the models was directly proportional to the drainage area of the stations, with the worst result in Porciúncula (NS = 0.3498) and the highest in Cardoso Moreira (NS = 0.9612). This difference can be attributed to intense precipitation located downstream of the stations, as can be observed by the precipitation estimated by satellite. Thus, an alternative to improve the efficiency of the models and reduce their uncertainty is to use a rainfall-discharge model with a spatially distributed precipitation observation.

Palavras-Chave – modelo hidrológico, sistema de alerta hidrológico, bacia do rio Muriaé.

1) Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Rua Costa, 55 – São Paulo/SP, marcos.salviano@cprm.gov.br, (11)3775-5127

1 - INTRODUÇÃO

Inundações são fenômenos naturais, mas quando ocorrem em áreas habitadas tornam-se desastres naturais, estando o Brasil entre os países mais atingidos, com 10.444 eventos registrados entre 1991 e 2010 e com mais de 38 milhões de pessoas afetadas (UFSC-CEPED, 2012). A expansão urbana associada à problemas socioeconômicos vem atuando no aumento e intensificação dos desastres naturais relacionados a inundações. Isto se deve por mudanças no ciclo hidrológico original com o aumento da impermeabilização do solo, desmatamento, erosão e intervenções estruturais nos rios (Tucci, 1998; Ministério das Cidades/IPT, 2007) e o aumento da população, principalmente de baixa renda, em áreas de risco, aumentando a sua vulnerabilidade (Goerl e Kobiyama, 2005).

Uma maneira de melhor compreender os fenômenos hidrológicos, permitindo em alguns casos prever a ocorrência de eventos de inundações, ocorre por intermédio de modelos hidrológicos (Xu, 2002). A elaboração dos modelos hidrológicos é possível a partir da observação de eventos críticos do passado com o levantamento de dados hidrológicos e topográficos, como a precipitação acumulada, vazões, cotas e marcas de cheia. Os modelos hidrológicos podem ser classificados de diversas maneiras, dentre as quais, os que utilizam dados de precipitação como entrada do modelo (chuva-vazão) e os que realizam a propagação de vazões observadas a partir estações a montante do ponto de interesse (vazão-vazão).

Estas previsões possibilitam a execução de ações preventivas e mitigadoras de órgãos como defesa civil municipal e estadual, prefeituras e corpo de bombeiros antes da ocorrência do evento, para assim minimizar os impactos sociais e materiais nas áreas que possivelmente serão atingidas pela inundações. Neste contexto, com o objetivo de prever eventos hidrológicos extremos e mitigar o impacto à população foi criado o projeto Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia Hidrográfica do rio Muriaé (SAH-Muriaé) operado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

Assim, o objetivo deste trabalho é descrever os resultados da operação do SAH-Muriaé durante o período de cheia resultante de uma precipitação intensa na bacia ocorrida principalmente nos dias 8 e 9 de março de 2018. As fortes chuvas resultaram em inundações em alguns municípios da região, como Eugenópolis/MG e Porciúncula/RJ.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

A Bacia Hidrográfica do rio Muriaé (BHRM) (Figura 1) está localizada nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, com uma área de drenagem de 8.126 km². O rio Muriaé é um afluente da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, sendo o seu último contribuinte principal antes de sua foz no Oceano Atlântico. Na bacia estão localizados 26 municípios, dos quais os mais populosos são Muriaé/MG, Itaperuna/RJ e Carangola/MG. A população total da bacia é de aproximadamente 440 mil habitantes (IBGE, 2017).

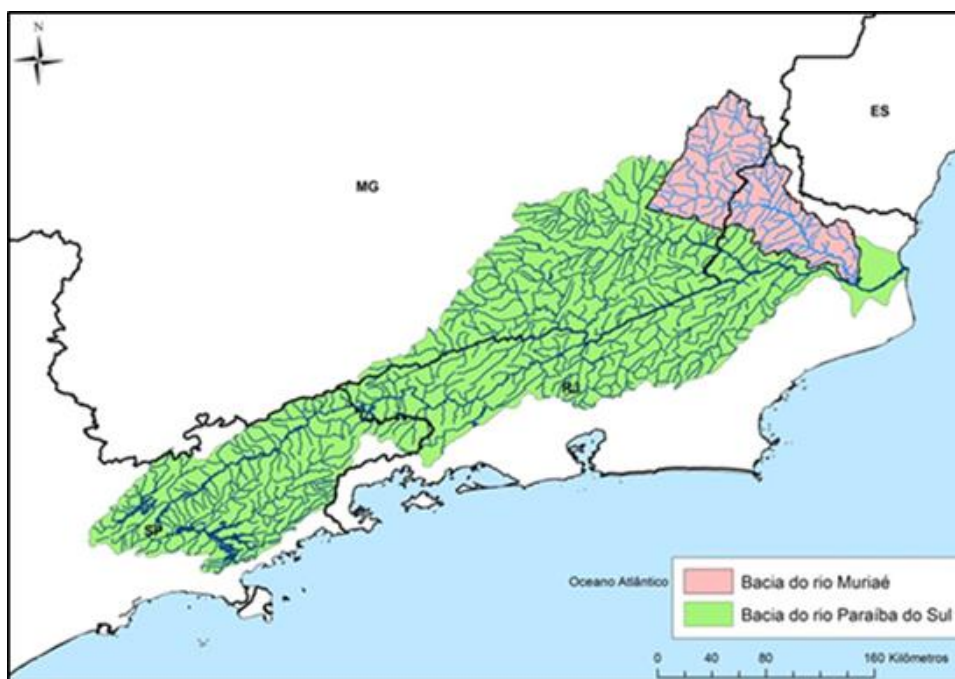


Figura 1 - Mapa da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (verde) e da sub-bacia do rio Muriaé (vermelho). (Fonte: autoria própria).

Os dados utilizados na operação do SAH-Muriaé são provenientes de cinco estações hidrológicas telemétricas localizadas na bacia (Tabela 1 e Figura 2). Destas estações, duas (Carangola e Porciúncula) estão localizadas no rio Carangola (principal afluente do rio Muriaé), enquanto que as demais estão no curso principal do rio Muriaé. Todas as estações são pertencentes à Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), operada conjuntamente pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pela CPRM. Estas estações medem e transmitem dados de cota (sensor piezométrico) e precipitação (pluviômetro de báscula) com uma frequência de 15 minutos. O dado de cota é posteriormente transformado em vazão por intermédio da equação da Curva-Chave de cada estação.

Tabela 1 - Estações hidrológicas utilizadas no SAH-Muriaé.

Nome da estação	Município/UF	Código RHN	Latitude	Longitude	Ad (km ²)
Patrocínio do Muriaé	Patrocínio do Muriaé/MG	58920000	21°09'02"S	42°12'52"W	2990
Carangola	Carangola/MG	58930000	20°44'18"S	42°01'26"W	742
Porciúncula	Porciúncula/RJ	58934000	20°57'41"S	42°02'16"W	1318
Itaperuna	Itaperuna/RJ	58940000	21°12'26"S	41°53'31"W	5768
Cardoso Moreira	Cardoso Moreira/RJ	58960000	21°29'29"S	41°36'48"W	7283



Figura 2 - Localização das 5 estações hidrológicas do SAH-Muriaé. (Fonte: autoria própria).

Como apoio para a análise do evento, foi utilizada dados de precipitação estimados pelo produto *Climate Prediction Center Morphing Technique* (CMORPH) (Joyce et al., 2004) disponibilizado pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). O produto proporciona imagens de satélite com estimativas de precipitação obtidas com sensores de microondas e propagadas por intermédio de imagens de sensores infravermelhos com resolução espacial de 8 km e frequência temporal de 30 minutos.

Para a avaliação da eficiência da modelagem utilizou-se o coeficiente de Nash-Sutcliffe (Nash e Sutcliffe, 1970), definido a partir da Equação 01:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_c^i - Q_o^i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o^i - \bar{Q})^2} \quad (1)$$

no qual Q_c é a vazão calculada; Q_o a vazão observada; \bar{Q} a média da vazão observada.

A modelagem hidrológica com equações empíricas de propagação de vazão foi empregada nos três pontos com alguma estação montante (Porciúncula, Itaperuna e Cardoso Moreira) para o período entre 8 e 14 de março de 2018.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando a eficiência da modelagem nas três estações (Tabela 2), é possível observar que ela foi diretamente proporcional à área de drenagem da estação modelada.

Tabela 2 - Eficiência da modelagem.

Estação	Eficiência da Modelagem
Porciúncula	0.3498
Itaperuna	0.7252
Cardoso Moreira	0.9612

A eficiência do modelo em Porciúncula (Figura 3) foi significativamente mais baixa do que as outras, não sendo capaz de prever nem o instante (atraso de 12 horas) nem a magnitude (subestimou em 40 m³/s) da vazão de pico que causou inundações no município. Esta falha pode ser explicada pelo fato da vazão da estação a montante (Carangola) não ter sofrido um aumento brusco. Isto ocorreu pelo fato da chuva de maior intensidade que causou as inundações ocorreu entre as estações de Carangola e Porciúncula, conforme pode ser observado na precipitação acumulada no período estimada pelo produto CMORPH (Figura 4).

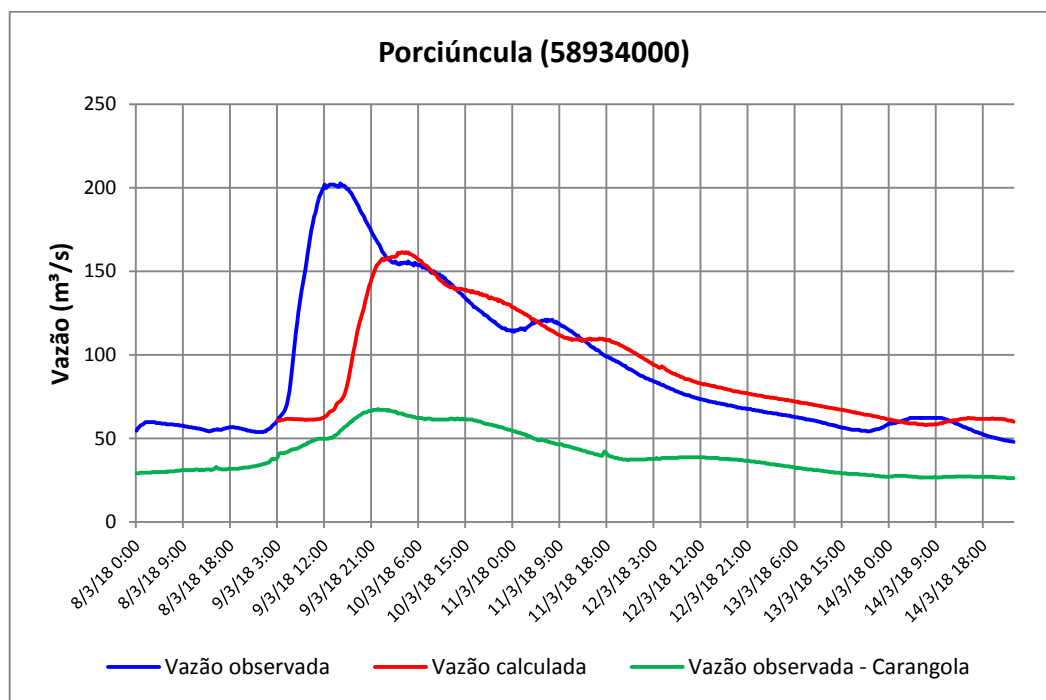


Figura 3 - Comparação entre vazão observada e calculada de Porciúncula, além da vazão observada de Carangola entre os dias 08 e 14 de março de 2018. (Fonte: autoria própria).

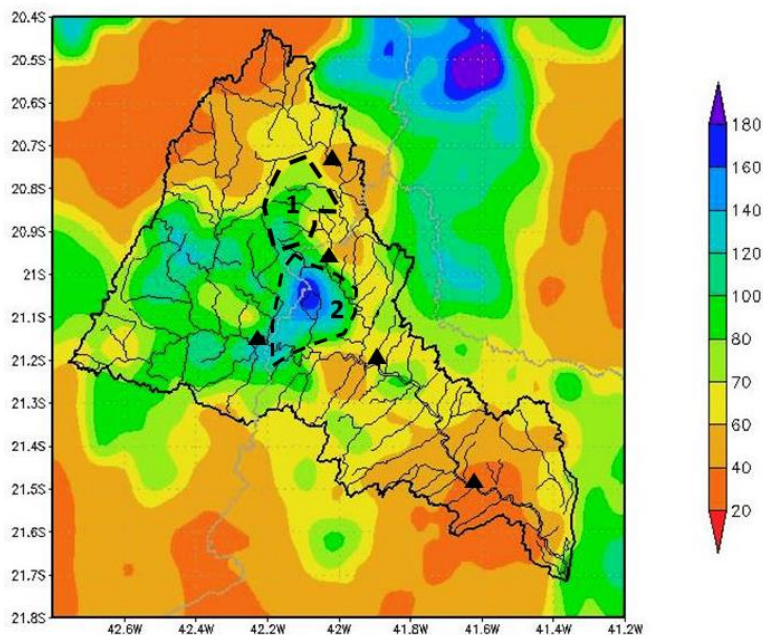


Figura 4 - Precipitação acumulada (mm) na bacia do rio Muriaé entre os dias 8 e 14 de março de 2018. Os polígonos 1 e 2 indicam as áreas cujas chuvas intensas prejudicaram, respectivamente, os modelos para Porciúncula e Itaperuna. Dados estimados por medições de satélite provenientes do produto CMORPH. (Fonte: autoria própria).

Em Itaperuna (Figura 5) o modelo obteve resultados mais satisfatórios, obtendo uma previsão exata do instante dos dois picos, porém com um erro na magnitude da vazão de aproximadamente $80 \text{ m}^3/\text{s}$ (subestimou o primeiro e superestimou o segundo). O erro na previsão da magnitude do primeiro pico pode ser explicado pela precipitação intensa ($> 160 \text{ mm}$) na região de coordenadas 42° W e 21° , observada na medição de satélite (Figura 4), que está a jusante das estações a montante de Itaperuna (Patrocínio do Muriaé e Porciúncula).

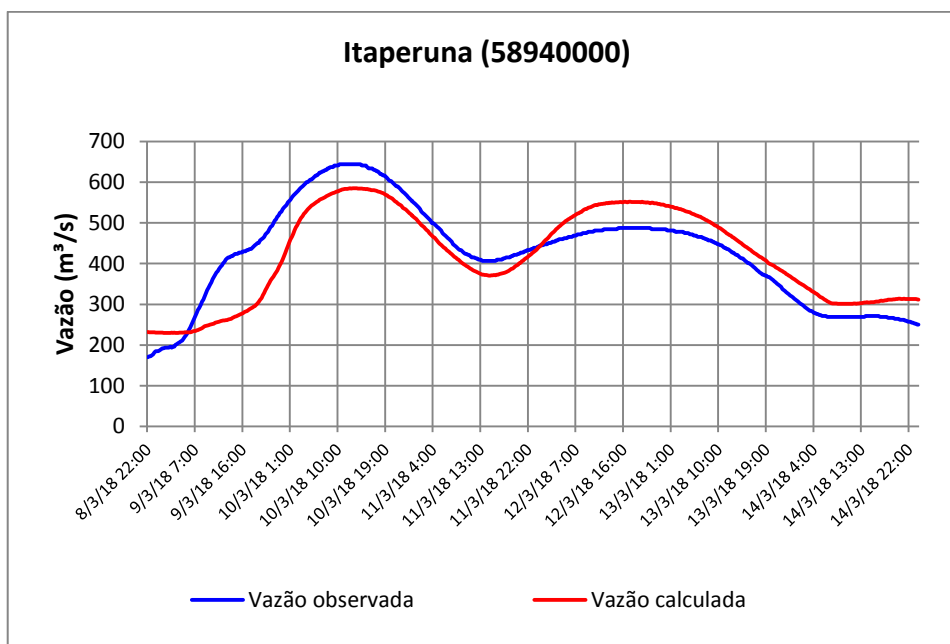


Figura 5 - Comparação entre a vazão observada e calculada de Itaperuna, entre os dias 08 e 14 de março de 2018. (Fonte: autoria própria).

O modelo para Cardoso Moreira (Figura 6) obteve a eficiência mais alta, prevendo com precisão os instantes e magnitudes dos picos. A sua melhor eficiência em relação às outras pode ser atribuída a fato de seu hidrograma ter apresentado um comportamento muito semelhante à estação de montante (Itaperuna), permitindo assim que o modelo hidrológico empírico vazão-vazão realizasse a propagação da vazão com sucesso.

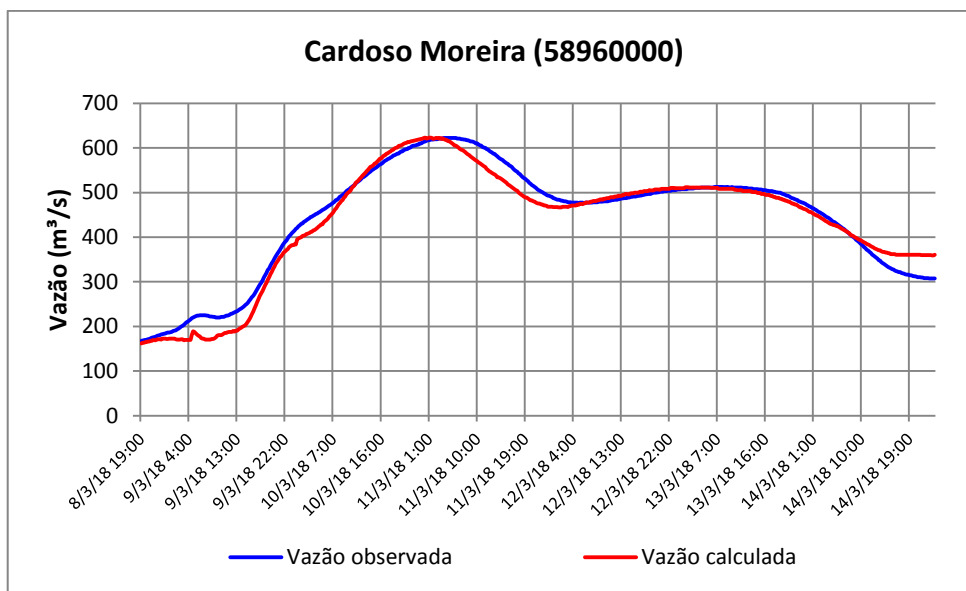


Figura 6 - Comparação entre a vazão observada e calculada de Cardoso Moreira, entre os dias 08 e 14 de março de 2018. (Fonte: autoria própria).

4 - CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na operação do projeto SAH-Muriaé durante um evento de chuvas intensas em março de 2018, foi possível encontrar as seguintes conclusões a respeito da modelagem vazão-vazão por meio de equações empíricas:

- É mais eficiente para pontos cuja diferença entre as áreas de drenagem das estações montante-jusante é pequena;
- É mais eficiente para eventos de chuva com uma distribuição homogênea, estando vulnerável à precipitações intensas em regiões entre duas estações.

Uma possível alternativa para aumentar a eficácia das previsões, reduzir a vulnerabilidade dos modelos em casos de chuvas intensas em determinados pontos da bacia e permitir a previsão para estações com área de drenagem pequena é a partir da utilização de um modelo chuva-vazão com uma medição espacialmente distribuída de precipitação.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. (2005). Considerações sobre as inundações no Brasil. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em Julho de 2017.

JOYCE, R. J.; JANOWIAK, J. E.; ARKIN, P. A.; XIE, P. (2004). CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, 5(3), p. 487-503.

MINISTÉRIO DAS CIDADES/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. (2007). *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. Brasília/DF, 176 p

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), p. 282-290.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) .Disponível em <http://www.ospo.noaa.gov/>. Acesso em Janeiro de 2018.

TUCCI, C. E. M. (1998). *Modelos hidrológicos*. Ed. 10. UFRGS. Porto Alegre/ RS, 669 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (UFSC-CEPED). (2012). *Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil*. Florianópolis/SC, p.

XU, C. Y. (2002). *Hydrologic models*. Textbooks of Uppsala University. Department of Earth Sciences Hydrology, p. 168.