

PREVISÃO DE VAZÕES AFLUENTES AO RESERVATÓRIO BICO DA PEDRA A PARTIR DE PRECIPITAÇÃO DE SATÉLITE

Pedro Leite de Souza¹ (IC), Benedito Cláudio da Silva¹ (PQ)

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Alocação de água. Bico da Pedra. Chuva de Satélite. Modelo chuva-vazão. Previsão de vazões.

Introdução

Entender sobre a distribuição espaço-temporal da precipitação é importante para pesquisas científicas e principalmente para a tomada de decisões relacionadas à alocação de águas. O presente estudo enfatizará a utilização da chuva de satélite para gerar previsões de vazões para a bacia hidrográfica do reservatório Bico da Pedra. O reservatório Bico da Pedra, é um barramento localizado ao Norte do estado de Minas Gerais, fazendo divisa com três municípios, sendo eles, Janaúba, Porteirinha e Nova Porteirinha. Este encontra-se inserido na bacia hidrográfica do Rio Verde Grande, a qual é uma sub bacia do Rio São Francisco. O reservatório tem por finalidade combater a baixa disponibilidade hídrica e os conflitos pelo uso da água na região, necessitando de uma alocação adequada de água para garantir os usos múltiplos à população. Entender as vazões afluentes ao reservatório é uma estratégia com potencial para aumentar a segurança hídrica na gestão do reservatório. Dessa forma, este trabalho apresenta os resultados de simulações de previsões de vazões afluentes ao reservatório com horizonte de seis meses, a partir da análise de cinco anos da série histórica que possuíam valores de vazões similares para os últimos seis meses em relação ao mês de interesse.

Metodologia

O Modelo SMAP:

O modelo hidrológico *Soil Moisture Accounting Procedure* (SMAP) consiste em um modelo determinístico de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão, sendo necessários dados para sua calibração, sendo eles, dados de precipitação, evaporação de tanque classe A e vazões médias mensais (Lopes, 1999). O modelo foi desenvolvido por Lopes et al. (1981). O desenvolvimento se baseou na experiência com a aplicação do modelo *Stanford Watershed IV* e modelo Mero em trabalhos realizados no Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) (ONS, 2018). No presente estudo, foi empregada uma versão mensal do modelo, a qual é constituída por

dois reservatórios matemáticos sendo que as variáveis de estado são atualizadas a cada mês. A versão utilizada do SMAP consiste em uma planilha que é destinada à calibração do modelo, a calibração pode ser feita de forma manual ou automatizada com o Solver, ao final apresenta saída gráfica. A estrutura do modelo SMAP, tem sua representação hidrológica considerada na calibração para a versão mensal evidenciada na Figura 1.

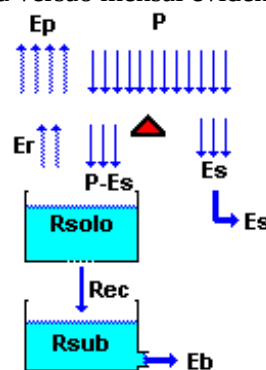


Figura 1 – Estrutura do modelo SMAP.

Um modelo hidrológico permite equacionar os processos, representar, entender e simular o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica (Tucci, 1998). Com isso, para que os modelos funcionem de maneira adequada e controlada, é preciso conhecer os processos e variáveis de entrada, para que se possa fazer uma análise coerente dos dados obtidos e aplicá-los de forma assertiva e proveitosa.

Precipitação de Satélite:

Entender sobre a distribuição espaço-temporal da precipitação é importante para pesquisas científicas e principalmente para a tomada de decisões relacionadas à alocação de águas. No entanto, devido ao elevado custo e a dificuldade na obtenção de medidas em áreas de difícil acesso, simulações numéricas e dados de satélite têm sido utilizados para estudos climatológicos e hidrológicos, contribuindo para o aumento da cobertura de dados climáticos (Longo et al., 2006; Adams et al., 2009). A utilização de dados de satélite tornou-se indispensável para suprir a escassez de dados em regiões que não possuem postos pluviométricos ou que não abrangem todo o seu território (Sanchez-Moreno et al., 2014). Assim, a chuva de satélite consiste em estimativas

espaciais de precipitação processadas por satélites que fornecem dados sobre a distribuição espacial das chuvas na área de estudo. Os dados utilizados são do GPM-IMERG V06, e passaram a ser emitidos a partir de 2014, com o lançamento do satélite *Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG)*, e sua missão consiste em obter dados de chuva e neve para uma resolução espacial de (0,1° x 0,1°) e temporal (30 minutos). Além disso, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) desenvolve e fornece dados para o MERGE, e a partir deste são feitos os downloads dos dados de chuva de satélite (Rozante et al., 2018).

Método:

Para este estudo, será utilizada a precipitação de satélite para previsões de vazões afluentes do reservatório Bico da Pedra. A fim de se obter essas estimativas, foi empregado um método que consiste na observação de 5 anos que possuam os 6 meses mais similares aos últimos 6 meses em relação ao mês de análise, p.e.: analisando o mês de julho/2023, utiliza-se o intervalo de janeiro/2023 até junho/2023, e se compara esse período com os equivalentes para 5 anos diferentes da série histórica. A partir desse procedimento, compara-se os valores obtidos com os valores da série histórica de vazões, e então, faz-se um enquadramento (muito acima da média, acima da média, abaixo da média e muito abaixo da média) e verifica-se a assertividade da estimativa. O ano estimado foi o de 2023, pois já se tem os valores de vazões observadas dele, assim possibilitando a comparação com as vazões estimadas.

Delimitação da Bacia Hidrográfica:

Primeiramente, foi feito o levantamento das coordenadas geográficas do reservatório Bico da Pedra, obtidas na ficha informativa encontrada no estudo dos Reservatórios do Semiárido Brasileiro, disponível nos domínios da ANA. Com as coordenadas identificadas, latitude 15°49'14,96"S e longitude 43°15'42,57"W, houve a delimitação da área de estudo, a bacia hidrográfica do reservatório Bico da Pedra. Para isso, o software QGIS 3.28.4 foi utilizado, nele foram adicionados os Modelos Digitais de Elevação (MDE) da região da bacia, disponibilizados pelo INPE e obtidos no portal TopoData, e então, feito um mosaico com os quadrantes 16S435ZN e 15S435ZN para se fazer a delimitação da bacia de estudo. O projeto ficou georreferenciado com o Sistema de Referências de Coordenadas (SRC) SIRGAS 2000 (EPSG 4674), no qual foram feitos todos os processamentos. Após feitos os ajustes de georreferenciamento, foi possível delimitar a área da bacia hidrográfica do reservatório Bico da Pedra. Junto a ela, foi inserido o

mapa contendo os municípios de Minas Gerais para facilitar a localização espacial, este shapefile foi obtido no portal do IBGE. Além disso foram adicionados os pontos de grade contendo as informações de chuva de satélite, e a localização das estações automáticas utilizadas. O mapa de localização da bacia do reservatório é visualizado na Figura 2.

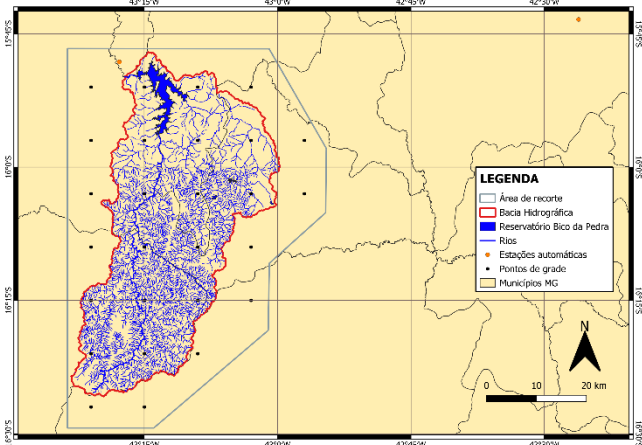


Figura 2 – Mapa de localização da bacia, incluindo os pontos de grade e estações automáticas.

Na Tabela 1 pode-se observar as principais características do Reservatório Bico da Pedra e de sua bacia afluente.

Tabela 1 – Principais características do Reservatório.

DADOS	INFORMAÇÕES E VALORES
PROPRIETÁRIO	CODEVASF
COORDENADAS (DATUM WGS-84)	19°49'45" S e 43°15'45" O
VOLUME MÁXIMO [hm³]	501,7
ÁREA ALAGADA MÁXIMA [km²]	42,1
NÍVEL D'ÁGUA MÁXIMO [m]	44,81
ÁREA DA BACIA [km²]	1629,42

Cálculo do Balanço Hídrico:

Como o reservatório tem a premissa de regularizar as vazões para atender a demanda hídrica dos usuários da região, principalmente o abastecimento público e o perímetro de irrigação, foi definido que seria necessário realizar o balanço hídrico do reservatório, conforme Equação 1, para que fosse possível determinar a vazão afluente que chega ao mesmo.

I = S_{t+1} - S_t + E_v - P + Q_d \tag{1}

Sendo:

S_{t+1}: Volume final do reservatório [hm³]

S_t: Volume inicial do reservatório [hm³]

I: Vazão afluente [hm³]

E_v: Evaporação [hm³]

P: Precipitação [hm³]

Q_d: Vazão demandada [hm³]

Dessa forma, utilizou-se a precipitação sobre o reservatório, a evaporação do reservatório e a demanda hídrica. Para determinar qual a demanda hídrica do reservatório, foi necessário fazer um levantamento para identificar quais são os usuários que fazem uso do

reservatório e quanto é a média de consumo de cada um deles. Estes dados foram obtidos a partir dos Boletins de Acompanhamento de Alocação, fornecidos pela Agência Nacional de Águas. Os dados utilizados compreendem o período de janeiro de 2015 a maio de 2024, e de posse do consumo de cada usuário, pôde-se fazer a média do consumo mensal. Os usuários e seu consumo médio foram listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Usuários e seus respectivos consumos.

TIPOS DE USO	CONSUMO MÉDIO [L/s]
ABASTECIMENTO PÚBLICO	130,42
DISTRITO DE IRRIGAÇÃO DO PERÍMETRO GORUTUBA (DIG)	957,73
AQUICULTURA	10,86
ASSOCIAÇÃO DOS PROPRIETÁRIOS IRRIGANTES DA MARGEM ESQUERDA DO RIO GORUTUBA (ASSIEG)	331,44
USOS DIFUSOS À JUSANTE	312,56
USOS DIFUSOS NO RESERVATÓRIO	12,18

Posteriormente, foram obtidos os dados de precipitação de satélite, fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para a área da bacia. Com o intuito de se obter valores mais precisos de precipitação, foi delimitada uma área de recorte dos pontos de grade, pontos os quais contêm as informações de chuva, que influenciam na bacia do reservatório Bico da Pedra, conforme Figura 2. Foram selecionados ao total 27 pontos de grade.

A partir dos dados coletados dos pontos de grade, foi possível montar uma série histórica para os valores de precipitação desde junho de 2000 até maio de 2024, e para se adequar ao modelo, foram selecionados os valores de precipitação para o mesmo período de janeiro de 2015 a maio de 2024.

Em seguida, foi feito o cálculo da evaporação do reservatório e o método utilizado para o cálculo foi o de Penman-Monteith, a Equação 2 evidencia as variáveis necessárias no método. Assim, foi feita a aquisição dos dados de radiação global, velocidade média do vento, umidade relativa média, temperatura média de bulbo seco e pressão atmosférica média no nível da estação, a partir do Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados foram coletados de duas estações automáticas, Nova Porteirinha – Janaúba (A563) e Rio Pardo de Minas (A551), ambas inseridas na área de estudo. Todos os dados encontram-se em escala diária.

$$ET_o = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p (\delta_e) g_a}{\left(\Delta + \gamma \left(1 + \frac{g_a}{g_s} \right) \right) L_v} \quad (2)$$

De posse dos dados acima mencionados, torna-se possível calibrar o modelo hidrológico determinístico SMAP. Dessa forma, os dados de precipitação média mensal, a evaporação potencial mensal, a demanda hídrica do reservatório e os parâmetros de calibração (expostos na Tabela 3), podem ser inseridos na planilha de Excel que contém o modelo.

Tabela 3 – Parâmetros variáveis do modelo SMAP e dados iniciais para a simulação.

RIO GORUTUBA, BICO DA PEDRA				
PARÂMETROS			INICIALIZAÇÃO	
sat	1909,4	400 < 5000	ebin	0,000
pes	3,0434	0,1 < 10	Dados	
crec	0	0,00 0 < 70	Ad =	1629,42 km²
k	1	0,5 1 < 6		
tuin	50,69	0,5		

Resultados e discussão

Utilizando a planilha de Excel que contém o modelo hidrológico do SMAP, é possível inserir todas as entradas necessárias para seu pleno funcionamento, estas são: dados de precipitação média mensal, evaporação potencial mensal, vazão observada e os parâmetros de calibração e inicialização.

Executou-se os cálculos do modelo, e com a utilização da ferramenta Solver, foi possível obter valores de vazões que teriam acontecido na área de estudo. Dessa forma, foi feita uma tabela de cálculos contendo a classificação e gerado um gráfico para cada mês analisado, um exemplo é observado na Tabela 4 e Figura 3.

Tabela 4 – Exemplo de cálculos e classificação.

NOVEMBRO - ABRIL							
	nov/23	dez/23	jan/24	fev/24	mar/24	abr/24	Soma
Observado	0,67	4,63	9,04	27,94	5,49	2,98	50,75
Previsão	5,74	10,59	10,22	5,01	8,60	4,45	44,61
q75	5,63	13,38	11,43	12,53	4,07	0,94	47,98
méd hist	3,05	12,18	7,54	8,68	3,30	0,85	35,60
q25	0,67	2,91	0,23	1,41	0,20	0,06	5,48

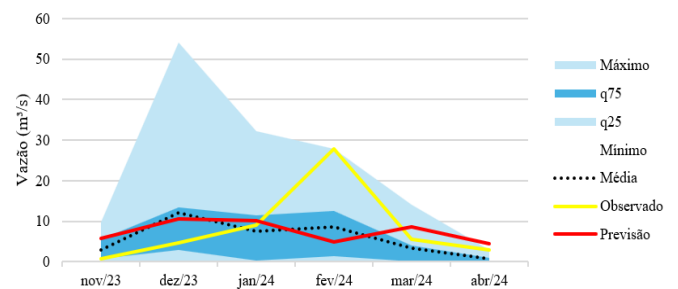


Figura 3 – Exemplo de saída gráfica.

Para a classificação, foram definidas faixas para enquadrar as vazões obtidas, essas faixas consideraram os percentis obtidos da série histórica de vazões observadas, sendo elas:

- Muito acima da média: vazões entre valor máximo e quartil 75%;
- Acima da média: vazões entre quartil 75% e a média;
- Abaixo da média: vazões entre a média e quartil 25%;
- Muito abaixo da média: vazões entre o quartil 25% e valor mínimo.

Assim, ao analisar as tabelas e os gráficos obtidos, observa-se que as vazões estimadas se ajustam de

maneira confiável, apresentando pequenas variações quando comparadas com a média histórica. Embora o coeficiente de eficiência (CE) global das simulações não seja muito elevado (33,33%), observa-se na Tabela 4 e na Figura 3 que esse baixo valor de CE pode ter sido ocasionado devido à alta vazão observada no mês de fevereiro/2024 que foi muito acima da média, logo esse valor acabou afetando as classificações dos meses seguintes.

Conclusões

No presente estudo, mostrou-se satisfatório o ajuste do modelo para o período de análise (que contemplou desde janeiro de 2015 até maio de 2024), uma vez que o modelo SMAP se ajustou de maneira confiável para a obtenção dos dados de vazões afluentes ao reservatório Bico da Pedra, transformados pelo método determinístico de chuva-vazão.

Com base no exposto, conclui-se que o modelo SMAP se ajusta e fornece resultados de estimativas de vazão próximos à média histórica. Dessa forma, a utilização da precipitação de satélite se mostra uma alternativa viável para que sejam feitos estudos, previsões e planejamentos, uma vez que as estimativas contribuem para facilitar a alocação das águas do reservatório para os usuários da região.

Assim, pode-se afirmar que o modelo SMAP apresenta potencial significativo para ser usado como ferramenta de análise de disponibilidade hídrica para o reservatório Bico da Pedra, podendo assim, auxiliar na operação e na alocação de água do reservatório.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo financiamento do projeto Incorporação de Previsões Climáticas e Hidrológicas na Gestão da Alocação de Água no Rio São Francisco (Edital Pró-Recursos Hídricos), à UNIFEI e à FAPEMIG pela concessão de uma bolsa de Iniciação Científica ao primeiro autor.

Referências

ADAMS, D. K.; SOUZA, E. P.; COSTA, A. A. Convecção úmida na Amazônia: implicações para modelagem numérica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 168-178, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Reservatórios do semiárido brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação**. Brasília: ANA, Engecorps Engenharia S.A, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Marco Regulatório estabelecendo condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico reservatório Bico da Pedra e rio Gorutuba, no Estado de Minas Gerais**. Nota Técnica nº 11/2017/COMAR/SER. Brasília: ANA, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL (INMET). **Normais Climatológicas (1991 – 2020)**. Brasília: INMET, 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TopoData: banco de dados geomorfométricos do Brasil**, 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climatológicos (CPTEC)**, 2023.

LONGO, A. J.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M. Modelo computacional para estimativa das precipitações prováveis utilizando as distribuições de probabilidades gama e log-normal. **Revista Varia Scientia**, v. 6, n. 11, p. 141-148, 2006.

LOPES, João Eduardo G. **Modelo SMAP**, 1999.

ROZANTE, J. R. et al. Performance of precipitation products obtained from combinations of satellite and surface observations. **International Journal of Remote Sensing**, v. 41, n. 19, 2020.

SANCHEZ-MORENO, J. F.; MANNAERTS, C.; JETTEN, V. Influence of topography on rainfall variability in Santiago Island, Cape Verde. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 1081-1097, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Editora Universitária UFRGS, 1998.