



IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS HIDROLÓGICOS PARA COMPOR UM SISTEMA DE ALERTA DE INUNDAÇÃO EM UMA BACIA DE MÉDIO PORTE NO NORTE DO PARANÁ

Arlan Scortegagna¹; João Vitor Melchior²; Amanda Carolina Santos de Matos³; Felipe Bortolletto Civitate⁴; José Eduardo Gonçalves⁵; Eduardo Alvim Leite⁶; Cássia Silmara Aver Paranhos⁷; Camila Freitas⁸; Rafael Schinoff Mércio Pereira⁹

Palavras-Chave: previsão hidrológica; modelos chuva-vazão; sistemas de alerta.

INTRODUÇÃO

Dentre as tecnologias usualmente adotadas para as simulações de vazão nos sistemas de alerta de inundação, ou mesmo de secas, destacam-se os modelos hidrológicos chuva-vazão. No Brasil, diversas iniciativas vêm utilizando modelos desse tipo, sejam eles conceituais ou de base física, concentrados ou semi-distribuídos, no desenvolvimento de sistemas operacionais de alerta hidrometeorológico (Fan *et al.*, 2017; Cavalcante *et al.*, 2020; Scortegagna *et al.*, 2021).

O sucesso de um sistema baseado nessa tecnologia está condicionado a uma miríade de fatores. Independentemente do modelo adotado, seu tipo e grau de complexidade, o desempenho das previsões hidrológicas é o resultado de: (i) representatividade dos dados pluviométricos, no que se refere aos eventos meteorológicos, por vezes, consideravelmente localizados; (ii) qualidade das séries históricas pluviométricas e fluviométricas; (iii) período disponível para calibração, em termos de tamanho e abrangência de eventos de baixa recorrência; (iv) estratégias de calibração (automática ou manual) e otimização (objetivo único, multiobjetivo ou, ainda, multietapas) adotadas; (v) métricas de eficiência usadas na calibração; (vi) período disponível e critérios de desempenho avaliados na validação; (vii) inclusão de técnicas de assimilação de dados e/ou pós-processamento; dentre outros. Diante do exposto, não é possível afirmar, *a priori*, sobre o modelo, e mesmo sobre o tipo de modelo, mais adequado para compor o sistema de alerta de uma bacia específica. Constitui uma boa prática em modelagem hidrológica o teste de alternativas para, então, apoiando-se nos resultados, escolher qual modelo trará bom desempenho e, ao mesmo tempo, praticidade operacional.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo apresentar uma das etapas fundamentais para a implementação de um sistema operacional de alerta de inundação: a identificação dos modelos que serão efetivamente operacionalizados. Trata-se de um estudo de caso em uma bacia de médio porte localizada no Norte do Paraná, região que, em janeiro de 2016, enfrentou um dos eventos meteorológicos mais críticos dentre os registrados pelo Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar) desde 1997 (G1, 2016).

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Reservatório de Fiú (Figura 1) está situada no Norte Central do Paraná. O rio principal é o Apucarantina que, por sua vez, é derivado do Rio Tibagi (Juliani *et al.*, 2021). Trata-se de uma bacia de médio porte com, aproximadamente, 534 km² que tem suas vazões

¹) Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar), Curitiba/PR. E-mail: arlan.scortegagna@simepar.br

²) Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar), Curitiba/PR. E-mail: joao.melchior@simepar.br

³) Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar), Curitiba/PR. E-mail: amanda.matos@simepar.br

⁴) Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar), Curitiba/PR. E-mail: felipe.bortolletto@simepar.br

⁵) Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar), Curitiba/PR. E-mail: jose.eduardo@simepar.br

⁶) Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar), Curitiba/PR. E-mail: eduardo.alvim@simepar.br

⁷) Companhia Paranaense de Energia (Copel) - Geração e Transmissão S.A., Curitiba/PR. E-mail: cassia.aver@copel.com

⁸) Companhia Paranaense de Energia (Copel) - Geração e Transmissão S.A., Curitiba/PR. E-mail: camila.freitas@copel.com

⁹) Companhia Paranaense de Energia (Copel) - Geração e Transmissão S.A., Curitiba/PR. E-mail: rafael.pereira@copel.com

monitoradas por meio do balanço hídrico no Reservatório de Fiú. A operação é realizada pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica (Copel), a qual disponibilizou a série de vazões afluentes que, por sua vez, foi utilizada para o ajuste dos modelos hidrológicos.

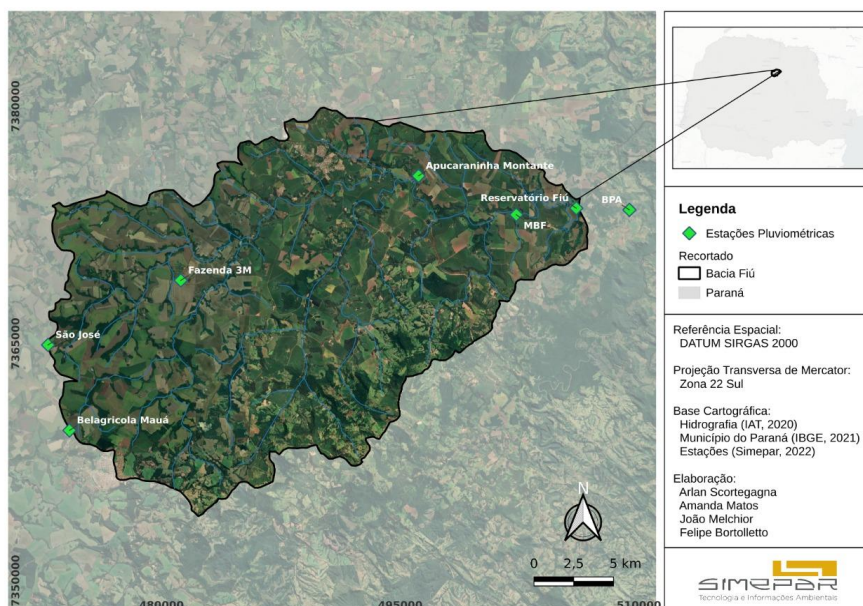


Figura 1. Bacia de Fiú. Fonte: autoria própria.

Postos pluviométricos

A tabela 1 ilustra as sete estações telemétricas utilizadas neste estudo, sendo que seis delas abrangem a área delimitada da bacia de Fiú e, uma - Barragem PCH Apucarantina -, está situada a jusante do reservatório de Fiú, vide (Figura 1). Adicionalmente, cinco estações são operadas pelo Simepar e duas pelo Instituto Água e Terra (IAT).

As séries históricas de precipitação dessas estações foram obtidas no banco de dados do Simepar, que realiza os registros a cada 15 minutos. Considerou-se, por sua vez, o período de janeiro de 2014 a janeiro de 2022, tendo em vista o período de dados disponíveis das estações, dentre outras considerações. Ademais, salienta-se que tais dados passaram por uma análise de qualidade e, posteriormente, houve a agregação diária da chuva (mm). Em sequência, os dados foram interpolados em uma grade regular igualmente espaçada.

Tabela 1 – Postos pluviométricos utilizados.

Código	Nome do posto	Município	Período de observação
23735103 (Simepar)	Apucarantina Montante	Londrina	09/2015 - 09/2022
23745090 (Simepar)	Barragem PCH Apucarantina (BPA)	Londrina	11/2013 - 09/2022
23875125 (Simepar)	Belagricola Mauá	Mauá da Serra	01/2022 - 09/2022
23795118 (Simepar)	Fazenda 3M	Marilândia do Sul	01/2022 - 09/2022
02350071 (IAT)	Montante Barragem Fiú (MBF)	Tamarana	04/2004 - 09/2022
23745094 (Simepar)	Reservatório Fiú	Tamarana	09/2015 - 09/2022
02351027 (IAT)	São José	Marilândia do Sul	01/1975 - 09/2022

Modelos hidrológicos

Os modelos ajustados neste trabalho e suas informações correlatas podem ser encontradas na Tabela 2. Adicionalmente, para mais detalhes quanto aos processos físicos modelados, parâmetros calibráveis e premissas de cada modelo recomenda-se a consulta das referências listadas na tabela supracitada. Para os modelos concentrados aplicou-se uma estratégia de calibração multietapas similar à realizada por Juliani *et al.* (2021). No caso do modelo distribuído de base física, SHETRAN, não foi feita calibração desse tipo: seus parâmetros foram definidos a partir das informações de uso e cobertura do solo e de valores tabelados no manual dos autores. Após os ajustes, os modelos tiveram seus desempenhos avaliados em escala diária com base nos valores de Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), NSE do logaritmo das vazões (Log-NSE) e Kling-Gupta efficiency

(KGE). Para a calibração dos modelos concentrados, as séries de dados foram separadas em períodos de calibração (01/01/2011 a 31/12/2015) e validação (01/01/2017 a 31/12/2021), com um período de aquecimento de 01/01/2014 a 31/12/2014. O desempenho de todos os modelos, inclusive do SHETRAN, foi avaliado somente no período de validação.

Tabela 2 – Descrição dos modelos considerados.

Modelo	Classificação	Forçantes	Parâmetros calibráveis	Referência	Período de calibração
HYMOD	Concentrado/ Conceitual	Precipitação, evapotranspiração potencial	5	Boyle, 2007	01/2011 - 12/2015
SHETRAN	Distribuído/ físico	Precipitação, evapotranspiração potencial, DEM médio, cobertura do terreno ¹⁰ , solo e geologia ¹¹ , lagos ¹² e máscara de captação	-	Newcastle University, 2021	Sem calibração
SMAP/ ONS	Concentrado/ Conceitual	Precipitação, evapotranspiração potencial	13	ONS, 2007	01/2011 - 12/2015
SAC-SMA	Concentrado/ Conceitual	Precipitação, evapotranspiração potencial	16	Burnash; Ferral, 1996	01/2011 - 12/2015
GR4J	Concentrado/ Conceitual	Precipitação, evapotranspiração potencial	4	Perrin et al., 2003	01/2011 - 12/2015

RESULTADOS

A Figura 2 apresenta as simulações obtidas nos anos de 2019 e 2020, ao passo que a Tabela 3 elucida as métricas de desempenho calculadas para o período de validação. Segundo os hidrogramas da Figura, todos os modelos representaram bem o comportamento observado, simulando de maneira assertiva tanto o escoamento de base, quanto os picos de cheia, com o SAC-SMA apresentando maior aderência. Em termos das métricas, destacam-se resultados satisfatórios para todos os modelos, com valores de NSE e KGE superiores a 0,60 (Moriasi *et al.*, 2007; Zuñiga *et al.*, 2012). Comparativamente, destacam-se o HYMOD pelos melhores desempenhos em termos de NSE e Log-NSE, e o SAC-SMA com um bom NSE e o maior KGE. Cabe ressaltar que as vazões aqui observadas referem-se às vazões afluentes resultantes de balanço hídrico e, portanto, possuem incertezas decorrentes de fontes, as quais não cabe discussão no escopo deste trabalho.

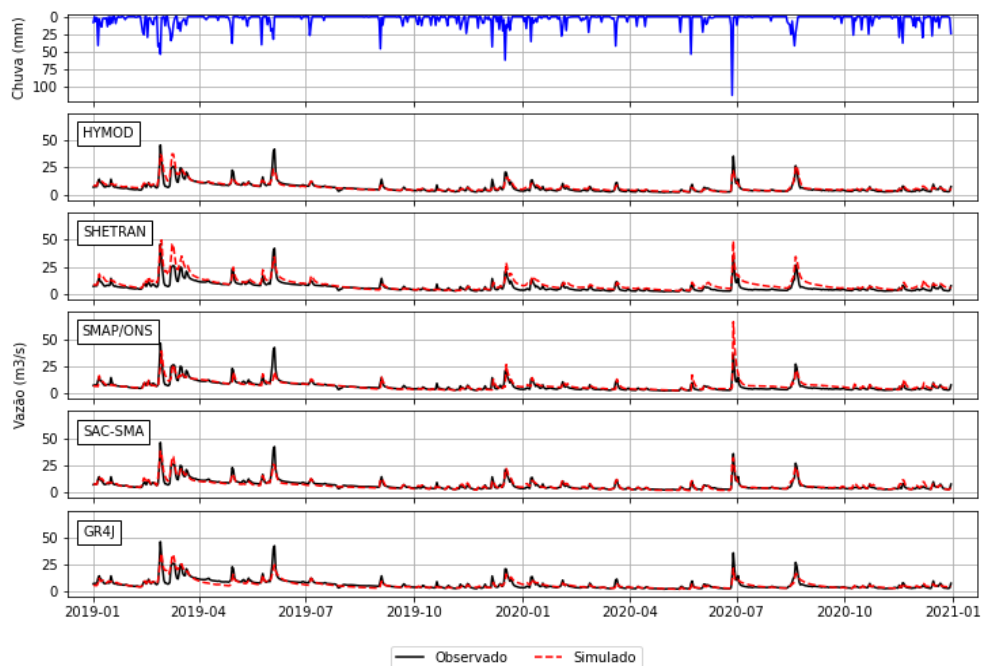


Figura 2 - Resultados das simulações em Fiu para o período entre janeiro de 2019 e dezembro de 2020.

¹⁰ Adaptado de MAPBIOMAS (2021). Cobertura. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acedido em: setembro de 2022.

¹¹ Adaptado de IBGE (2017). Solos. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15829-solos.html?=&t=downloads>. Acedido em: setembro de 2022.

¹² ANA (2019). Massa d'Água. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/search?keyword=GEOFT_BHO_MASSA_DAGUA. Acedido em: setembro de 2022.



Tabela 3 – Desempenho dos modelos hidrológicos durante o período de validação.

Modelo	NSE	Log-NSE	KEGE
HYMOD	0,77	0,83	0,70
SHETRAN	0,72	0,66	0,68
SMAP/ONS	0,64	0,70	0,69
SAC-SMA	0,75	0,68	0,74
GR4J	0,69	0,71	0,72

CONCLUSÕES

Todos os cinco modelos hidrológicos avaliados apresentaram bom desempenho, de modo que uma combinação multimodelos é a recomendação destes autores para a implementação em um sistema de alerta operacional na bacia de interesse. Um resultado importante deste trabalho foi o desempenho do modelo SHETRAN que, mesmo sem calibração, apresentou desempenho comparável ou superior aos modelos concentrados. Dessa forma, o SHETRAN possibilita oportunidades relevantes de implementação em bacias de médio porte e sem monitoramento, ou com séries históricas muito recentes, situação muito comum no Estado do Paraná. Não obstante, os modelos concentrados HYMOD e SAC-SMA apresentaram as melhores métricas de desempenho, indicando potencial e atestando para a qualidade do SAC-SMA, o qual já se encontra implementado na bacia em questão, mas em escala sub diária (Juliani *et al.*, 2021).

REFERÊNCIAS

- BOYLE, D. P. “*Multicriteria Calibration of Hydrologic Models*”. Tese de doutorado, University of Arizona, 134 pp.
- BURNASH, R. J. V.; FERRAL, L. “*Conceptualization of the sacramento soil moisture accounting model*”. Disponível em: <https://www.weather.gov/media/owp/oh/hrl/docs/23sacsm.pdf>. Acedido em: outubro de 2022.
- CAVALCANTE, M. R. G.; BARCELLOS, P. C. L.; CATALDI, M. (2020) “*Flash flood in the mountainous region of Rio de Janeiro state (Brazil) in 2011: part I - calibration watershed through hydrological SMAP model*”. Natural Hazards, v. 102, p. 1117-1134.
- FAN, F. M.; PONTES, P. R. M.; BUARQUE, D. C.; COLLISCHONN, W. (2017). “*Evaluation of upper Uruguay river basin (Brazil) operational flood forecasts*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 22, n. 37.
- G1. (2016). “*Chuva atinge 18 mil pessoas e causa prejuízos em 45 cidades do Paraná*”. Disponível em: <http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2016/01/chuva-atinge-18-mil-pessoas-e-causa-prejuizos-em-45-cidades-do-parana.html>. Acedido em: outubro de 2022
- JULIANI, B. H. T.; ALMEIDA, A. S.; GONÇALVES, J. E.; LEITE, E. A.; PARANHOS, C. S. A.; FREITAS, C.; PEREIRA, R. S. M.; ALMEIDA, M. I. (2021). “*Operacionalização de previsões de vazão afluente ao Reservatório de Fiu, Paraná*” in XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER, R.L.; HARMEL, R.D.; VEITH, T.L. (2007). “*Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*”. Transactions of the ASABE 50 (3), pp. 885-900.
- NEWCASTLE UNIVERSITY (2021). “*SHETRAN Hydrological model*”. Disponível em: <https://research.ncl.ac.uk/shetran/>. Acedido em: setembro de 2022.
- ONS (2017). ONS - MANUAL DE METODOLOGIA - APLICATIVO SMAP. 2017.
- PERRIN, C.; MICHEL, C.; ANDREÁSSIAN, V. (2003). “*Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation*”. Journal of Hydrology, v. 279, p. 275-289.
- SCORTEGAGNA, A.; GONÇALVES, J. E.; INOUE, R. T.; JUSEVICIUS, M. A. R.; PAZ, S. R.; LEITE, E. A.; BENETI, C. A. A.; LOPES, M. S.; BARUFALDI, P. G. A.; LÉO, E. C.; VILELLA, A. L. A.; MERCANTI, J. A.; FRANCO, I. S.; SAAD, J. C.; NAVARRO, A. L. S. (2021). “*Previsão hidrometeorológica na operação do Sistema Cantareira nas bacias PCJ*” in XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- ZUÑIGA, R.; MUÑOZ E.; ARUMÍ, J. L. (2012). “*Estudio de los procesos hidrológicos de la cuenca del Río Diguillín*”. Obras y Proyectos, v.11, p. 69-78.