

PREVISÃO HIDROLÓGICA COMO FERRAMENTA DE SUPORTE À TOMADA DECISÃO DE UM SISTEMA DE ALERTA EM BACIA COM BAIXO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Marina Refatti Fagundes¹; Cléber Henrique de Araújo Gama¹; Fernando Mainardi Fan¹; Maurício
Andrades Paixão¹; Karla Campagnolo¹ & Masato Kobiyama¹

Palavras-Chave – Sistema de alerta, SOPREVA, Previsão de vazões, Trilha do Rio do Boi.

INTRODUÇÃO

O Parque Nacional de Aparados da Serra (PNAS) fica localizado na divisa dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, mais especificamente, nos municípios de Cambará do Sul (RS) e Praia Grande (SC), sendo um local muito procurado para realização de atividades em ambientes naturais. Entre os passeios mais procurados pelos turistas, destaca-se a Trilha do Rio do Boi que é realizada na fenda do cânion Itaimbezinho e acompanha em grande parte do trajeto o leito do rio, sendo necessário cruzá-lo em alguns pontos específicos. Dessa forma, dependendo das condições do escoamento desse curso de água, não é possível realizar a trilha, já que a força do fluxo pode vir a arrastar pessoas, causando situações emergenciais. Além disso, de acordo com Mazzali *et al.* (2019), o percurso da trilha é classificado como sendo bastante severo.

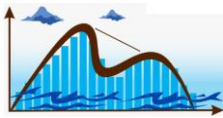
Por esse motivo, o PNAS adotou um critério de fechamento em que a trilha só pode ser realizada nos dias em que o nível do Rio do Boi e do Rio Perdizes, que é seu principal afluente, estiverem abaixo de 20 cm e 15 cm, respectivamente. As medições para determinar se a trilha será aberta ou não são realizadas todos os dias às 7 horas da manhã pelos gestores do parque em régua limimétrica que estão instaladas nesses cursos de água.

Entretanto, como a trilha está inserida em uma bacia hidrográfica pequena e que responde de forma rápida aos eventos de precipitação, as condições do escoamento podem se alterar rapidamente devido à ocorrência de chuvas, o que pode vir a causar situações de perigo a quem estiver realizando o percurso. Dessa forma, uma maneira de contribuir com o aprimoramento do critério de fechamento da trilha é através da aplicação de um sistema de previsão hidrológica à bacia em estudo. Esses sistemas são caracterizados por fornecerem informações relativas à vazão ou ao nível de água que irá passar por um determinado ponto de um curso de água em um horizonte de previsão pré-estabelecido (FAN *et al.*, 2016).

Diversos são os sistemas de previsão hidrológica existentes, sendo que a quantidade de dados de entrada necessários e a facilidade de aplicação são características importantes na escolha de qual será utilizado. Nesse sentido, o Sistema Operacional de Previsão de Vazões (SOPREVA) destaca-se por ser um sistema de fácil operacionalização. É composto por um modelo hidrológico concentrado de base física e utiliza uma técnica de assimilação de dados – *Ensemble Kalman Filter* (EVESEN, 2003; EVESEN, 2004) – a fim de otimizar o resultado das estimativas a partir da correção do estado do modelo nos momentos em que forem realizadas as previsões (GAMA, 2019; GAMA *et al.*, 2019). Para realizar as estimativas de vazão, podem ser inseridos tanto dados de previsões determinísticas quanto dados de previsões por conjunto. Em Gama (2019) são apresentadas algumas aplicações do SOPREVA, contudo não há registro de aplicações em bacias com área de drenagem tão pequena quanto a do Rio Perdizes (51 km²), sendo esta também uma verificação da aplicabilidade do sistema.

Partindo dessas considerações, este trabalho descreve uma aplicação do SOPREVA à bacia do Rio Perdizes para previsão da variação das vazões nesse curso de água ao longo do dia. O desempenho

1) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Avenida Bento Gonçalves 9500, (51) 3308-6686, marinarf95@hotmail.com.br.



do Sistema como ferramenta para tomada de decisão sobre o fechamento da trilha é então comparado com a metodologia atualmente utilizada a partir da identificação em série histórica de dados observados dos dias em que a trilha deveria ter sido fechada. São verificados os desempenhos de previsões determinísticas e por conjunto, com rodadas em um ou dois horários por dia.

METODOLOGIA

Os dados de entrada utilizados na aplicação do SOPREVA foram as séries históricas de precipitação e vazão referentes à bacia do Rio Perdizes (51 km²) para o período compreendido entre novembro de 2017 e junho de 2019. Esses dados são provenientes de equipamentos que foram instalados e se encontram sob responsabilidade do Grupo de Pesquisas em Desastres Naturais da UFRGS (GPDEN/UFRGS - <https://www.ufrgs.br/gpdn/>). A série de evapotranspiração potencial foi obtida automaticamente pelo SOPREVA, a partir do fornecimento das coordenadas geográficas de um ponto da bacia, com base nas estimativas de Xavier *et al.* (2015).

O modelo hidrológico foi calibrado pelo método SCE-UA, utilizando o coeficiente de Nash Sutcliffe (NS) como função objetivo e o desempenho posteriormente avaliado pelas métricas KGE, NSlog e BIAS. Os parâmetros de assimilação foram definidos a partir de uma breve análise de sensibilidade e em concordância com o observado e proposto em aplicações anteriores do SOPREVA.

As estimativas de precipitação prevista utilizadas são referentes aos membros *Global Ensemble Forecast System* (GEFS) e foram obtidas a partir da plataforma da NOAA *Earth System Research Laboratory* – ESRL (esrl.noaa.gov/psd/forecasts/reforecast2/download.html). Nesse caso, foram utilizados os dados relativos aos onze membros que compõe o conjunto e a sua média para horizontes de previsão variando entre zero e 24 horas de antecedência. Vale ressaltar que não foram realizadas correções nos dados de precipitação.

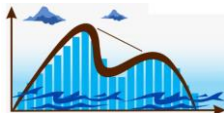
As previsões foram realizadas aplicando a técnica de assimilação de dados EnKF e consideraram dois cenários distintos. O primeiro avaliou somente uma rodada do SOPREVA, sendo ela realizada às 7h da manhã, horário em que normalmente os gestores do parque verificam o nível do Rio Perdizes para determinar se a trilha será aberta naquele dia ou não. O segundo cenário considerou duas rodadas do SOPREVA, sendo uma realizada às 7h da manhã e outra ao meio dia. Essa segunda situação foi avaliada, pois, como o tempo de resposta da bacia a um evento de precipitação é muito pequeno, há um melhor ajuste das previsões para menores tempos de antecedência, aproveitando dos benefícios da aplicação da técnica de assimilação dos dados.

A partir dos resultados obtidos pela aplicação do SOPREVA, foram determinados os dias em que a trilha foi considerada como fechada pelo modelo utilizando como limiar uma vazão de 1,9 m³/s (equivalente a aproximadamente 15cm no local de observação do Rio Perdizes), ou seja, se em algum momento do dia o modelo registrou alguma vazão igual ou superior a esse valor, a trilha foi considerada como fechada. Por fim, os registros históricos referentes aos dias em que a trilha foi fechada pelo parque foram comparados com os resultados da aplicação do SOPREVA para os dois cenários considerados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A calibração do modelo hidrológico para o período considerado resultou em valores de NS=0,64; KGE=0,72; NSlog=0,62 e BIAS=-10%. O uso da técnica de assimilação de dados na previsão das vazões melhorou a performance do modelo para horizontes de antecedência de até pouco mais de 5h (superior ao tempo de concentração da bacia). Este resultado indica um potencial melhor para o segundo cenário, já que rodar o sistema duas vezes permite que a variação das condições de vazão na bacia do Rio Perdizes ao longo do dia sejam melhor representadas.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos dados relativos ao fechamento da trilha obtidos a partir das análises realizadas. Observa-se que com as previsões determinísticas (segunda e terceira linha da tabela) a escolha pelo fechamento da trilha é feita de forma mais eficiente do que a metodologia atualmente aplicada, apresentando um menor índice de erros graves (quando a trilha deveria ser



fechada e não foi indicado). Contudo, a metodologia atual de observação do nível da régua apresenta benefícios para tomada de decisão sobre níveis menores, ou seja, quando a trilha não deveria ser fechada. Este fato nos indica que esta informação ainda deve ser considerada para tomada de decisão.

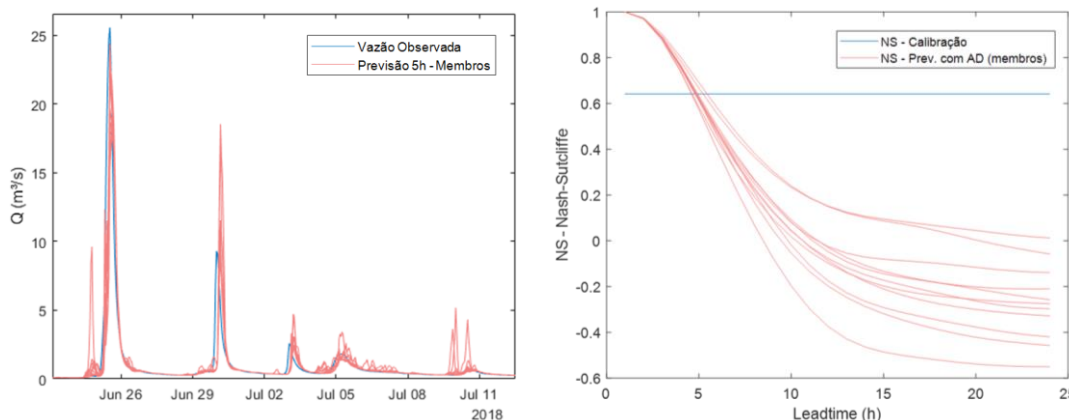
Ao utilizar a previsão por conjunto é também verificado uma redução no número de erros graves e agora com a vantagem de se ter a informação de uma probabilidade associada à tomada de decisão. Verifica-se que uma tomada de decisão com base na informação de concordância de pelo menos 80% dos membros do conjunto de previsão resulta em menos números de erros.

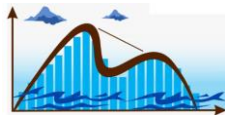
Tabela 1 – Número de dias de concordância ou não entre cada metodologia e os dados observados para decisão sobre o fechamento da trilha.

	Probabilidade (%)	Deveria e Fechou (acerto)	Deveria e não fechou (erro grave)	Não deveria e não fechou (acerto)	Não deveria e fechou (erro menos grave)
Método Atual - Régua	-	34	16	555	0
Previsão SOPREVA (7h)	-	36	14	499	56
Previsão SOPREVA (7h e 12h)	-	43	7	537	18
Previsão por conjunto SOPREVA (7h e 12h)	9.09	44	6	503	52
	18.18	43	7	515	40
	27.27	43	7	522	33
	36.36	43	7	527	28
	45.45	43	7	528	27
	54.55	43	7	530	25
	63.64	43	7	531	24
	72.73	43	7	533	22
	81.82	43	7	534	21
	90.91	42	8	535	20
100.00	42	8	536	19	

A Figura 1a ilustra um hidrograma de vazões observadas (em azul) e previstas por cada membro da previsão por conjunto, com 5h de antecedência (em vermelho). A Figura 1b apresenta o desempenho do SOPREVA, avaliado em termos de NS, para horizontes de previsão de até 24h. Em azul é apresentado o desempenho de calibração e as linhas em vermelho representam membros do conjunto.

Figura 1 – a) Hidrogramas de vazões observadas e previstas com 5h de antecedência; b) Desempenho do modelo na previsão por conjunto, avaliado em termos do coeficiente de NS.





CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos por meio das simulações realizadas, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- O SOPREVA apresentou bons resultados aplicado à bacia do Rio Perdizes, conseguindo representar os processos em uma bacia que possui baixo tempo de concentração e área de drenagem de 51km²;
- A técnica de assimilação de dados trouxe melhoria para o desempenho das previsões realizadas, especialmente nas primeiras horas do horizonte de previsão;
- A previsão de vazões apresenta-se como uma ferramenta com potencial de ser utilizada (em conjunto com a metodologia atual de verificação do nível da régua) para tomada de decisão sobre o fechamento da trilha do Rio do Boi. Uma metodologia de compatibilização das informações destas duas metodologias deve ser melhor investigada no futuro;
- A previsão por conjunto trouxe benefícios para tomada de decisão, sobretudo pela informação de probabilidade associada a cada previsão.

Neste contexto, os autores indicam a proposição de um sistema de alerta para decisão sobre o fechamento da trilha do Rio do Boi composto por um sistema de previsão hidrológica por conjunto, agregado a informações oriundas da estação limimétrica. Indica-se que o limiar parra indicativo do fechamento da trilha seja analisado, bem como, limiares para consideração de cada um dos métodos.

REFERÊNCIAS

EVENSEN, G. (2003). “*The Ensemble Kalman Filter: theoretical formulation and practical implementation Ocean Dynamics.*” 53, pg. 343–367.

EVENSEN, G. (2004). “*Sampling strategies and square root analysis schemes for the EnKF, Ocean Dynam.*” 54, pg. 539–560.

FAN, F.M., PONTES, P.R.M., COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D.C. (2016). “*Sobre o uso da persistência de previsões determinísticas de vazão para a tomada de decisão.*” Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 2, p. 218-228.

GAMA, C.H.A. (2019). “*Previsão operacional de vazões baseada em modelo hidrológico concentrado, assimilação de dados e previsões meteorológicas.*” Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. Porto Alegre. 97p.

GAMA, C.H.A.; PAIVA, R.C.D; COLLISCHONN, W. (2019). “*Previsão operacional de vazões baseada em modelo hidrológico concentrado, assimilação de dados e previsões meteorológicas.*” In: Anais XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (Foz do Iguaçu - PR), 2p.

MAZZALI, L.H.; DIAZ, L.R.; KOBAYAMA, M. (2019). “*Classificação do percurso da Trilha do Rio do Boi no Parque Nacional de Aparados da Serra, com base na NBR15.505-2:2008.*” In: Anais XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (Foz do Iguaçu - PR), 10p.

XAVIER, A.C.; KING, C.W.; SCALON, B.R. (2015). Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). Int. J. Climatol. 36, pg. 2644–2659.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes pela bolsa de pesquisa, ao Grupo de Pesquisas Hidráulicas (GPDEN/UFRGS) e ao grupo de Hidrologia de Grande Escala (HGE/UFRGS) pelo apoio recebido e aos servidores do Parque Nacional de Aparados da Serra pelo suporte durante a execução do monitoramento em campo.