

## **SPRERS – SISTEMA DE PREVISÃO DE RECESSÃO EM ESTIAGEM PARA O RIO GRANDE DO SUL**

*Rafaela Cristina de Oliveira<sup>1</sup>, Fernando Mainardi Fan<sup>2</sup>, Ingrid Petry<sup>3</sup> & Isadora Menegon<sup>4</sup>*

**Palavras-Chave** – seca, níveis de rios, previsão.

### **INTRODUÇÃO**

A seca hidrológica é um fenômeno que gera anomalia nas vazões de rios, com diminuição de seus níveis superficiais e subterrâneos ou diminuição de áreas úmidas (Thomas *et al.*, 2014). Ela é um fenômeno complexo, resultado da combinação de processos atmosféricos e hidrológicos ocorrendo em diferentes escalas de tempo (Cuartas *et al.*, 2022). Devido à complexidade do fenômeno, as suas causas são igualmente complexas, não dependendo apenas de fatores atmosféricos, mas também de processos hidrológicos que produzem umidade, armazenam água e geram escoamento. (Van Loon, 2015).

Assim como as secas, as estiagens também ocorrem a partir da diminuição significativa ou ausência de precipitação. Os eventos apresentam diferenças na intensidade e duração de ocorrência e no impacto que causam nas taxas de evapotranspiração. Assim, o fenômeno da estiagem pode ser definido como uma seca de menor impacto, ocorrendo em um período menor. No estado do Rio Grande do Sul, o plano “Supera Estiagem” apresentou medidas de ação de curto, médio e longo prazo ao enfrentamento ao último período de seca, nos anos de 2019 a 2023. No plano consta que o estado já passou por 5 grandes períodos de estiagem nos últimos 20 anos, em 2004, 2005, 2012, 2020 e 2022. Até 15 de fevereiro de 2023, 284 municípios se encontravam em situação de emergência, contabilizando 5,8 milhões de pessoas afetadas e R\$ 13 bilhões em prejuízos municipais.

O enfrentamento a situações de extremos climáticos pode ser feito através de ferramentas hidrológicas que auxiliem a sociedade na prevenção e na redução de danos causados. Quando a população e o Estado possuem informações sobre as prováveis alterações dos níveis de rios, medidas como o remanejamento de outorgas, racionamento de água e planejamento do tráfego em hidrovias podem ser adotadas. Assim, o objetivo do trabalho é desenvolver um sistema capaz prever os níveis de rios do Rio Grande do Sul para períodos de estiagem, sem previsão de chuva no horizonte, utilizando dados de estações hidrológicas telemétricas.

### **METODOLOGIA**

A metodologia iniciou com uma seleção das estações telemétricas disponíveis no estado, das quais foram extraídos os dados de nível. As estações foram escolhidas mediante a extensão de suas séries históricas, obtendo dados para no mínimo, o período de 2021 a 2023. Após isso foram identificados os limiares com base no trabalho de Giacomelli *et al.*, (2021), que apresenta em seus resultados uma tabela com os limiares de atenção e alerta de estiagem para as principais estações de monitoramento da Sala de Situação da Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul. Os limiares de atenção têm como objetivo fornecer aos órgãos gestores níveis críticos, enquanto os limiares de alerta indicam maior gravidade, onde os rios já se encontram em patamares de escassez hídrica.

Com base nisso, o sistema de previsão estabeleceu o gatilho do modelo como o limiar de permanência 70%, e as cotas de atenção e de alerta as permanências 85% e 90% do tempo,

<sup>1</sup> Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rafaela.cristina@ufrgs.br

<sup>2</sup> Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, fernando.fan@ufrgs.br

<sup>3</sup> Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ingrid.petry@ufrgs.br

<sup>4</sup> Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, isadora.menegon@ufrgs.br

respectivamente. A amostra de níveis variou de acordo com a disponibilidade de cada estação, iniciando no primeiro dia de medição e terminando no dia 31 de agosto de 2022. Assim, foram determinados períodos de estiagem, com duração mínima 8 dias, com o objetivo de conter o dia de início da previsão e os 7 dias seguintes de horizonte. O período escolhido para validação do modelo foi de setembro de 2022 a dezembro de 2023, buscando contemplar uma das secas enfrentadas pelo estado. Em sequência foram calculados os coeficientes de recessão diários para cada uma das estações, seguindo a metodologia apresentada Collischonn e Dornelles (2015), através da equação 1:

$$k = \frac{-\Delta t}{\ln\left(\frac{C_{(t+\Delta t)}}{C_{(t)}}\right)} \quad (1)$$

Onde:  $\Delta t$  é o intervalo de tempo;  $C_{(t+\Delta t)}$  é a cota em um instante futuro ( $t + \Delta t$ );  $C(t)$  é a cota em um instante  $t$  e  $k$  é uma constante (com a unidade de  $t$ ).

Para criar uma faixa de variabilidade de resultados foram escolhidos o  $k$  mediano, o  $k$  de percentil 25 e o  $k$  de percentil 75, resultando em três valores de  $k$  por estação. Com os três coeficientes de recessão calculados para cada uma das estações, foram gerados os níveis. Sugere-se que o decaimento das vazões ou níveis de um rio podem ser representados por uma equação semelhante a equação 2:

$$C_{(t)} = C_0 \cdot e^{\frac{-t}{k}} \quad (2)$$

Onde:  $t$  é o tempo;  $C_0$  é a cota em um instante  $t_0$ ;  $C_t$  é a cota em um instante  $t$  e  $k$  é uma constante (com a unidade de  $t$ ).

As previsões geradas têm inicialização diária e fazem previsões para 7 dias a frente para cada um dos períodos de recessão identificados, variando o “ $t$ ” de 1 a 7, representando cada dia do horizonte de revisão. O conceito de horizonte é utilizado na literatura de previsão para contar o número de passos de tempo ao qual está sendo gerada a previsão. Sendo assim, a previsão para daqui a 7 dias significa um horizonte de 7 dias.

A validação do sistema foi feita através do cálculo do diagrama ROC (*receiver operator characteristic curve*). O diagrama ROC é usado para avaliar a capacidade de um sistema de previsão emitir alertas verdadeiros ou falsos em relação a ocorrência de um evento (Brown *et al.*, 2010). Ele baseia-se no cálculo dos pontos POD (*probability of detection*) e POFD (*probability of false detection*), onde o POD corresponde a capacidade do sistema de previsão em determinar corretamente a ocorrência de um limiar, já o POFD corresponde a quantidade de falsas detecções que foram realizadas pelo sistema de previsão. Em um diagrama ROC, quanto mais o sistema de previsão se aproximar do ponto (0,1), melhor será a sua capacidade de prever corretamente eventos. Por fim, todos os passos descritos acima foram desenvolvidos em um código de programação na linguagem python.

## RESULTADOS

A Figura 1 apresenta o cotograma para a estação 77150000 (Uruguaiana) para os anos de 2005 a 2023. Na imagem são observados os limiares de gatilho do modelo, atenção e alerta, representados pelas linhas tracejadas nas cores preto, vermelho e vermelho escuro, respectivamente. O cotograma buscar representar o funcionamento do modelo quanto a detecção dos seus limiares.

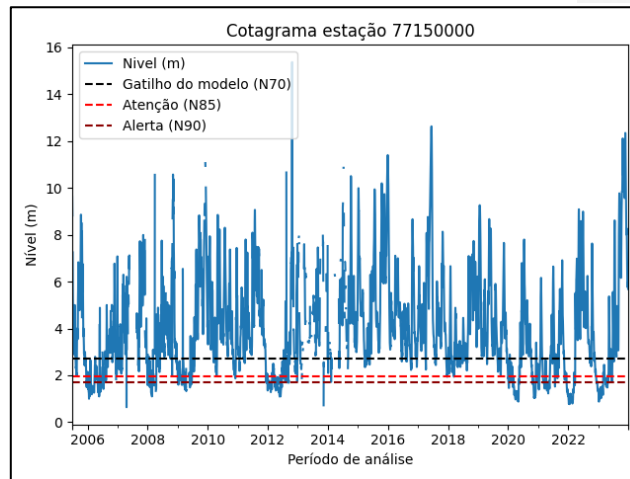


Figura 1. Cotograma da estação 77150000. Fonte: autoria própria.

Ao todo foram gerados resultados para 46 estações telemétricas, e aqui serão descritos os principais resultados para a estação de Uruguaiiana, onde a Figura 2 mostra uma das previsões geradas para a estação no gráfico do lado esquerdo e o resultado do diagrama ROC para o horizonte de 1 dia no lado direito. O gráfico das previsões emitidas (retrospectiva) no dia 04/12/2022 mostra as cotas observadas com a linha preta, e as previsões com os coeficientes de recessão mediano, de percentil 25 e de percentil 75, representados, respectivamente, pelas linhas com as seguintes cores: azul royal, azul acinzentado e azul fluorescente. O limiar de atenção é apresentado pela linha contínua vermelha e o limiar de alerta é apresentado pela linha contínua vermelho escuro.

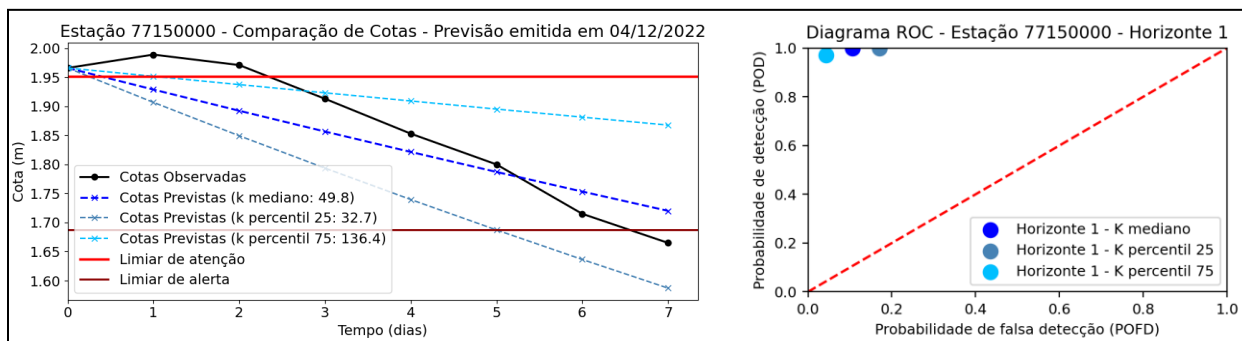


Figura 2. Diagrama ROC da estação 77150000. Fonte: autoria própria.

Observou-se nesse período de estiagem que os níveis iniciaram acima do limiar de atenção, porém, ao longo do horizonte de previsão os níveis foram baixando e atingindo o limiar de alerta. A previsão conseguiu demonstrar o decaimento futuro das cotas observadas, projetando desde o primeiro dia de previsão que as cotas futuras estariam abaixo do limiar de atenção e se aproximando do limiar de alerta. Esse ponto é muito positivo para o sistema, já que verificar a possível ocorrência de níveis abaixo da cota de atenção antes que eles aconteçam permite que sejam tomadas medidas de controle para evitar o agravamento da escassez hídrica.

O Diagrama ROC mostrou que ao longo dos horizontes os valores de POD e POFD foram piorando, o que é um comportamento tradicional da previsão. Para o horizonte 1 os resultados de POD e POFD foram satisfatórios, com POD próximo a 1 e POFD inferior a 0,2, indicando uma alta probabilidade de detecção e uma baixa taxa de falsa detecção. Por fim, a Figura 3 apresenta um gráfico com um resumo dos resultados de todas as estações com as classificações de POD e POFD para os horizontes 1, 3 e 5. Observa-se que as taxas de detecção se mantêm na classificação de “boa” ao longo dos horizontes, enquanto as taxas de falsa detecção vão se classificando como “média” e “ruim” com o aumento do horizonte. Esse comportamento é esperado, já que quanto mais longe das condições de contorno, mais baixa é a capacidade de previsão do modelo.

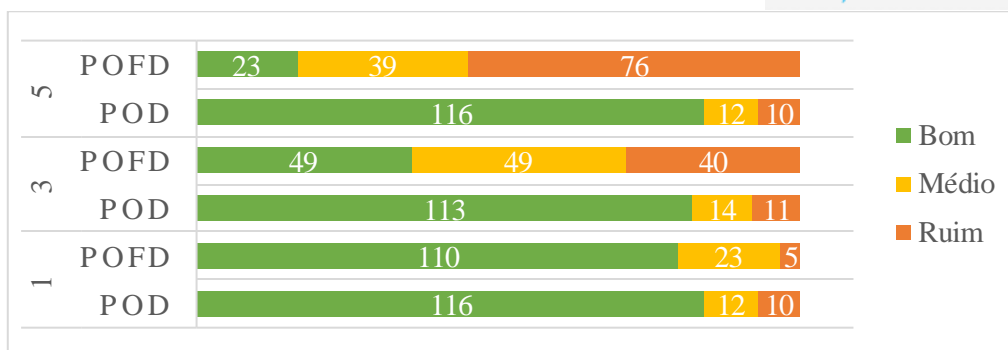


Figura 3. Diagrama ROC da estação 77150000. Fonte: autoria própria.

## CONCLUSÕES

O objetivo proposto por esse trabalho foi atingido com o desenvolvimento e teste de uma ferramenta em python capaz de prever os níveis de rios para o estado do Rio Grande do Sul durante períodos de estiagem. Observou-se com os resultados do diagrama ROC que a ferramenta consegue realizar a previsão dos níveis de rios para os sete horizontes, atuando de maneira mais eficaz nos primeiros três horizontes de previsão. Salienta-se que a ferramenta pode ser adaptada e testada com limiares individuais para cada estação e para horizontes de previsão mais longos, como 15 ou 30 dias. Como projeções futuras, espera-se a utilização da ferramenta no formato webgis, no próximo período de seca enfrentado pelo estado, para auxiliar na gestão de recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS

- GIACOMELLI, L., NECTOUX, M., VALENTE, C., GOULART, G., PELINSON, D., FAN, F. (2021) “Utilização de limiares de estiagem, indicadores de baixa disponibilidade hídrica” in Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2020, pp. 1-6.
- COLLISCHONN, W., DORNELLES, F. (2015). *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre/RS, v. 1, 2015.
- BROWN, J.D; DEMARGNE, J.; DONG-JUN SEO & LIU, Y. (2010). “The Ensemble Verification System (EVS): A software tool for verifying ensemble forecasts of hydrometeorological and hydrologic variables at discrete locations”. *Environmental Modelling & Software*, v. 25, issue 7, p.854–872.
- CUARTAS, L. A., CUNHA, A. P. M. D. A., ALVES, J. A., PARRA, L. M. P., DEUSDARÁ-LEAL, K., COSTA, L. C. O., MOLINA, R. D., AMORE, D., BROEDEL, E., SELUCHI, M. E., CUNNINGHAM, C., ALVALÁ, R. C. S., & MARENGO, J. A. (2022). “Recent hydrological droughts in Brazil and their impact on hydropower generation”. *Water*, 14(4), 601.
- THOMAS, A. C., REAGER, J. T., FAMIGLIETTI, J. S., & RODELL, M. (2014). “A GRACE-based water storage deficit approach for hydrological drought characterization”. *Geophysical Research Letters*, 41(5), 1537-1545.
- VAN LOON, A. F. “Hydrological drought explained”. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 359–392, 2015.