

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

UTILIZAÇÃO DE SÉRIES CURTAS NA ESTIMATIVA DE COTAS DE ATENÇÃO PARA USO OPERACIONAL DA SALA DE SITUAÇÃO-RS NO MONITORAMENTO DE INUNDAÇÕES

Pedro Camargo¹; Ingrid Petry² & Fernando Mainardi Fan³

Abstract: The Situation Room SEMA-RS is a hydrometeorological monitoring and forecasting center located in Rio Grande do Sul (RS), being linked to the Secretariat for the Environment and Infrastructure (SEMA) and the National Agency for Water and Basic Sanitation (ANA), playing a role fundamental in the RS State Integrated Risk and Disaster Management System. Its main responsibility is to generate information during the monitoring and warning phase of critical events, issuing periodic bulletins and hydrometeorological warnings. This data is essential to assist the Civil Defense of the State in making decisions. In hydrological monitoring, data from telemetric fluviometric stations available in ANA's Hydro-Telemetry system are used, with levels being monitored by means of thresholds obtained through flow-duration curve or topographic elevations. Although there is a considerable number of stations throughout the state, many of them are out of operation or have short data series, which makes it difficult to obtain the necessary permanence curves. As a result of this limitation, 11 of the 25 main river basins in the state still lack adequate stations for hydrological monitoring. To work around this situation, stations with shorter data series (at least 5 years) were used to obtain attention quotas for flooding. With the implementation of these new threshold, it was possible to generate preliminary flow-duration curves, increasing the number of stations available for monitoring from 43 to 142. This advancement resulted in increased monitoring in 7 watersheds previously without data, contributing to more comprehensive coverage and a better understanding of hydrological conditions in the state.

Resumo: A Sala de Situação SEMA-RS é um centro de monitoramento e previsão hidrometeorológica localizado no Rio Grande do Sul (RS), sendo vinculada à Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA) e à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), desempenhando um papel fundamental no Sistema Estadual de Gestão Integrada de Riscos e Desastres do RS. Sua principal responsabilidade é gerar informações durante a fase de monitoramento e alerta de eventos críticos, emitindo boletins periódicos e avisos hidrometeorológicos. Esses dados são essenciais para auxiliar a Defesa Civil do Estado na tomada de decisões. No monitoramento hidrológico são utilizados dados de estações fluviométricas telemétricas disponíveis no sistema Hidro-Telemetria da ANA, sendo os níveis monitorados por meio de limiares obtidos através de curvas de permanências ou cotas topográficas. Embora exista um número considerável de estações em todo o estado, muitas delas estão fora de operação ou possuem séries de dados curtas, o que dificulta a obtenção das curvas de permanência necessárias. Como resultado dessa limitação, 11 das 25 principais bacias hidrográficas do estado ainda carecem de estações adequadas para o monitoramento hidrológico. Para contornar essa situação, foram utilizadas estações com séries de dados mais curtas (pelo menos 5 anos) para obter cotas de atenção para inundação. Com a implementação dessas medidas, foi possível gerar curvas de permanência preliminares, aumentando o número de estações disponíveis para o monitoramento de 43 para 142. Esse avanço resultou em um aumento de monitoramento em 7 bacias hidrográficas anteriormente sem dados, contribuindo para uma cobertura mais abrangente e uma melhor compreensão das condições hidrológicas no estado.

Palavras-Chave: Limiares, Inundação, Prevenção

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, pedroluisbernardidecamargo@gmail.com

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, ingrid.petry@ufrgs.br

3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, fernando.fan@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

As inundações são, dentre os diferentes desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul um dos eventos que causam maiores danos socioeconômicos. Segundo o Atlas Socioeconômico do RS (2022) no período de 2003 a 2017 foram registrados um total de 256 reconhecimentos de situação de emergência ou de calamidade pública decorrentes de eventos de inundação e entre 2017 e 2021 foram mais de 35 mil pessoas afetadas diretamente por esse tipo de evento no estado.

Visando ações de planejamento e promoção de ações destinadas a prevenção e redução dos efeitos de inundações e secas, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) inaugurou em 2009 a Sala de Situação para monitorar e analisar a evolução das chuvas, dos níveis e vazão dos principais rios, reservatórios e bacias hidrográficas prioritárias no âmbito federal. A partir de 2010 a agência apoiou os estados na implementação de Salas de Situação estaduais, com atuação análoga à da ANA, porém com escala espacial de análise reduzida (ANA, 2019). No Rio Grande do Sul, a Sala de Situação estadual foi criada em 2013 e começou sua atuação em 2015, no âmbito da previsão, monitoramento e prevenção de eventos críticos extremos, agindo em parceria direta com a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA) e Defesa Civil do estado (GIACOMELLI, L. *et al*, 2019).

No âmbito de eventos de cheias a Sala de Situação do RS envia boletins e alertas seguindo cotas de referência definidos conforme metodologia proposta por Germano e Matos (2017), e com pequenas alterações para a realidade do local de implementação. Essa metodologia necessita de séries históricas homogêneas e representativas, ou seja, no mínimo 30 anos de dados na estação de monitoramento para absorver a variabilidade climática na estimativa das cotas, que são: Cota de atenção (Possibilidade moderada de ocorrência de inundação), Cota de Alerta (Possibilidade elevada de ocorrência de inundação) e Cota de Inundação (Cota em que o primeiro dano é observado no município).

Elaboradas a partir dessa metodologia, existem atualmente 43 estações de monitoramento com cotas de referência definidas, localizadas majoritariamente nos rios Uruguai, Taquari-Antas, Caí, Sinos e Gravataí, dessa forma existe um conjunto de 11 bacias hidrográficas que não contam com monitoramento de nível em seus principais rios. Além disso, há poucas ou nenhuma estação com cotas de referência nos trechos de rio de cabeceira. Informações nesses locais são importantes para alertar a população local e é utilizada como dado de entrada em sistemas de previsão de vazão. A ausência de monitoramento nessas bacias e trechos de rio constituem uma lacuna crítica no conhecimento hidrológico da região. A falta de limiares nas estações impede a efetividade do monitoramento e prevenção de eventos extremos nas regiões.

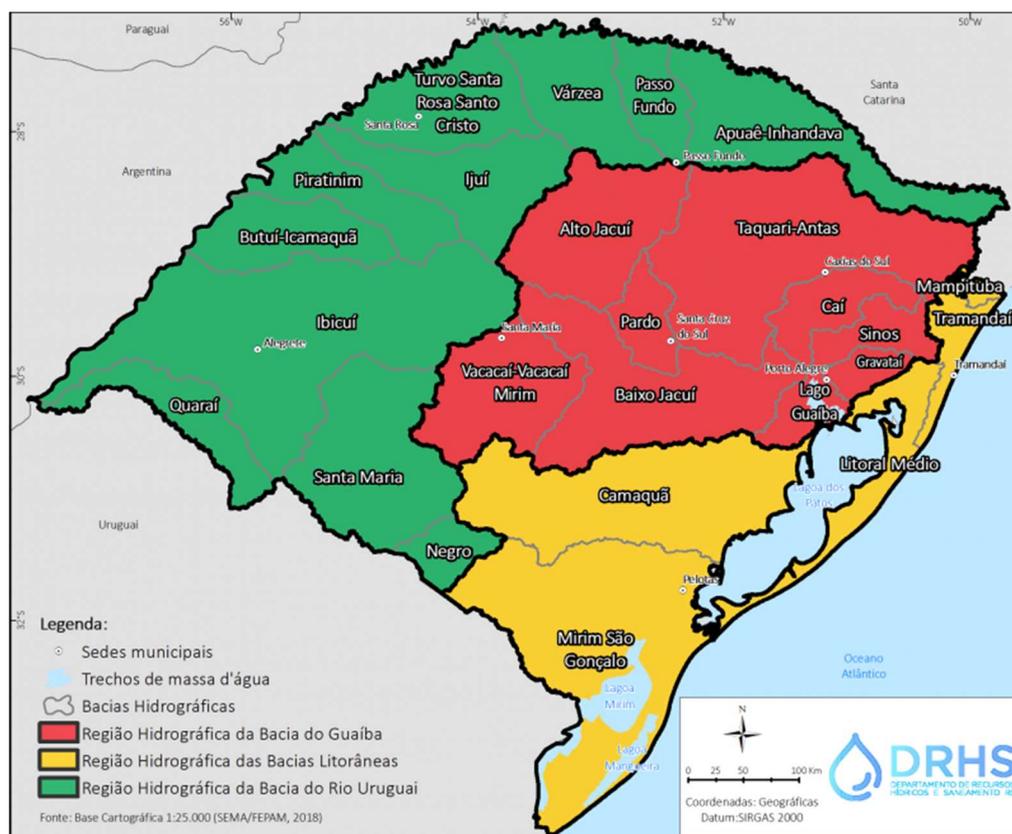
O Rio Grande do Sul, entretanto, possui uma rede telemétrica e convencional de aproximadamente 176 estações ativas e com dados. Essas estações possuem poucos anos de dados, porém muitas estão localizadas em rios que ainda não são monitorados, representando um grande potencial para ampliar a rede de monitoramento hidrológico da Sala de Situação do RS.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo estabelecer cotas de atenção para estações com séries curtas de dados, com o intuito de ampliar o alcance do monitoramento hidrológico, melhorar a prevenção de desastres naturais e fornecer informações mais precisas para a gestão de recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul.

ÁREA DE ESTUDO

O Rio Grande do Sul é o estado mais ao sul do Brasil, sendo divisa internacional com Uruguai e Argentina e divisa nacional apenas como estado de Santa Catarina. A hidrografia do estado não se restringe a sua divisão política, em grande parte por conta da bacia do Rio Uruguai que abrange os países e estado vizinhos. Para fins de gerenciamento o estado é dividido em 25 bacias hidrográficas, agrupadas em 3 regiões hidrográficas (Figura 1), sendo elas Região Hidrográfica do Uruguai, Região Hidrográfica do Guaíba e Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas. O presente trabalho utilizou o conjunto de estações fluviométricas telemétricas disponíveis no território do estado.

Figura 1 - Mapa da divisão de regiões e bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul. Fonte: (SEMA, 2020).



METODOLOGIA

Inicialmente, foram selecionadas todas as estações telemétricas em funcionamento disponíveis nos portais da ANA, Hidroweb e Hidro-Telemetria para o estado do Rio Grande do Sul. Posteriormente foram obtidas as séries históricas e selecionadas apenas estações com no mínimo de 5 anos de dados de nível diário (convencionais) e/ou horários (telemétricas) até 31/12/2022, dessa forma foram selecionadas um total 98 estações a mais em todo o estado.

Para lidar com a grande quantidade de estações, foi desenvolvido um código em *Python* com o objetivo de gerar hidrogramas das séries históricas, remover medições anômalas, inconsistências nos dados e calcular as curvas de permanência. O código foi implementado visando a automatização do processo e a eficiência no tratamento das informações. No entanto, mesmo com o uso do código, os hidrogramas gerados foram analisados visualmente para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos.

É importante ressaltar que as estações utilizadas neste estudo são operadas por diversas instituições, entre elas a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), a Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA-RS) e diversas empresas do Setor Elétrico. Essa diversidade de instituições responsáveis pela operação das estações garante uma abrangência territorial e representativa de diversos cursos hídricos do estado. De modo geral esse conjunto de estações monitora diariamente apenas dados de nível, e os dados de vazão podem ser obtidos através de curva chave com medições eventuais de vazão. Os dados de nível além de serem o dado de medição mais comum e frequente, permitem um melhor entendimento da comunidade civil sobre a situação dos rios e serão os dados utilizados nesse estudo.

A curva de permanência é uma técnica muito utilizada na hidrologia para analisar e visualizar a distribuição estatística dos valores de uma série temporal hidrológica. Ela representa graficamente a frequência com que ocorrem valores iguais ou superiores aos valores observados ao longo de um

determinado período, permitindo assim obter a porcentagem de tempo (permeância) a qual um valor de vazão ou nível é igualado ou superado dentro da série histórica (TUCCI, 2012).

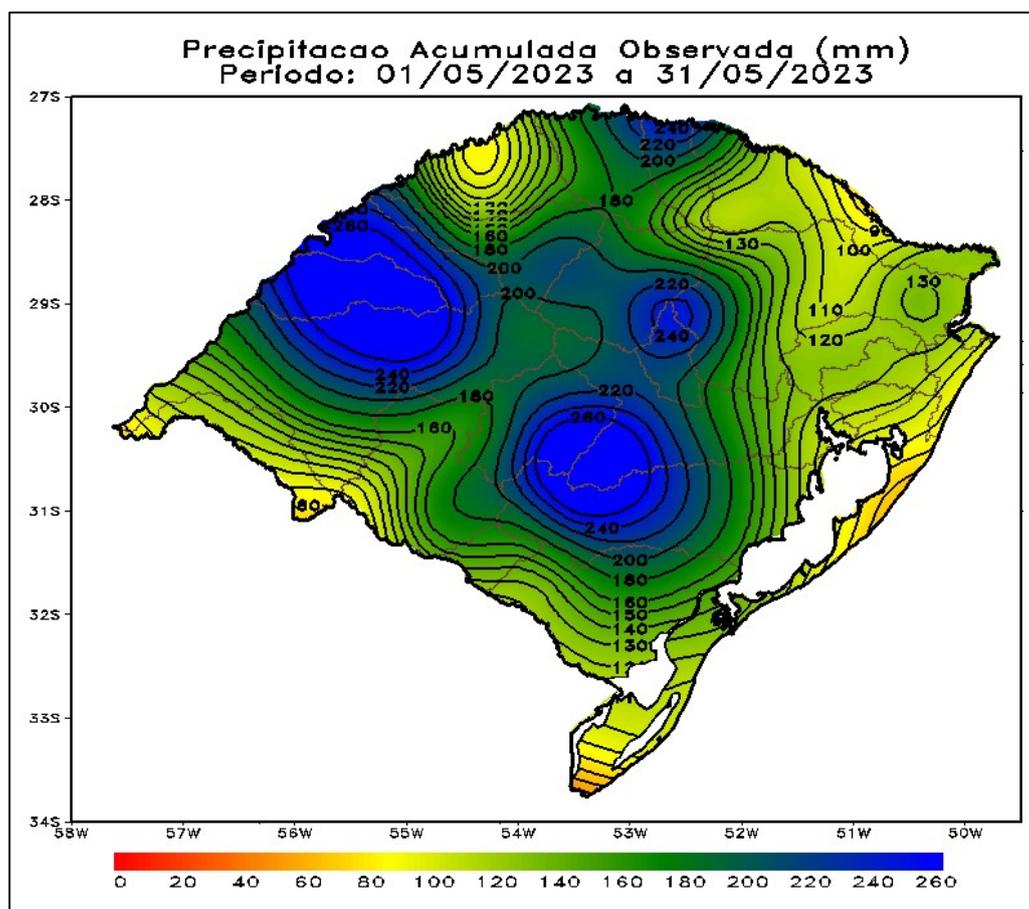
Através dos valores estimados pela curva de permanência é possível avaliar as grandezas de níveis registradas em uma estação, permitindo definir limiares mínimos e máximos. Para os períodos de cheia (máximos), é comum utilizar valores como a N10, que representa o nível que é ultrapassada em apenas 10% dos casos.

A definição de uma cota de atenção, conforme utilizado pela CPRM (2017), envolve a determinação de um nível em que existe uma possibilidade moderada de ocorrência de inundação em um determinado ponto. Para estabelecer essa cota, foi utilizado o valor de N10 das estações analisadas.

Essas abordagens e definições auxiliam na compreensão dos diferentes aspectos hidrológicos, como vazões extremas e riscos de inundação. A utilização da curva de permanência e a definição de limiares específicos de vazão e níveis de cota proporcionam ferramentas importantes para a gestão e planejamento dos recursos hídricos, bem como para a mitigação dos impactos causados por eventos hidrológicos extremos.

As cotas de atenção estabelecidas com base em séries curtas de dados foram validadas durante um evento de precipitações intensas que ocorreu no início de maio de 2023. Nesse período, diversas estações pluviométricas em todo o estado registraram mais de 200 mm de chuva, com destaque para as bacias do Apuaê-Inhandava, Passo Fundo, Várzea, Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo, Ijuí, Piratinim, Butuí-Icamaquã, Ibicuí, Santa Maria, Vacacaí-Vacacaí Mirim, Jacuí, Pardo, Taquari-Antas e Camaquã. A figura 2 apresenta a precipitação acumulada durante o mês de maio, porém destaca-se que boa parte dessa precipitação ocorreu no primeiro decêndio do mês.

Figura 2 - Mapa da precipitação acumulada no primeiro decêndio de maio no RS.

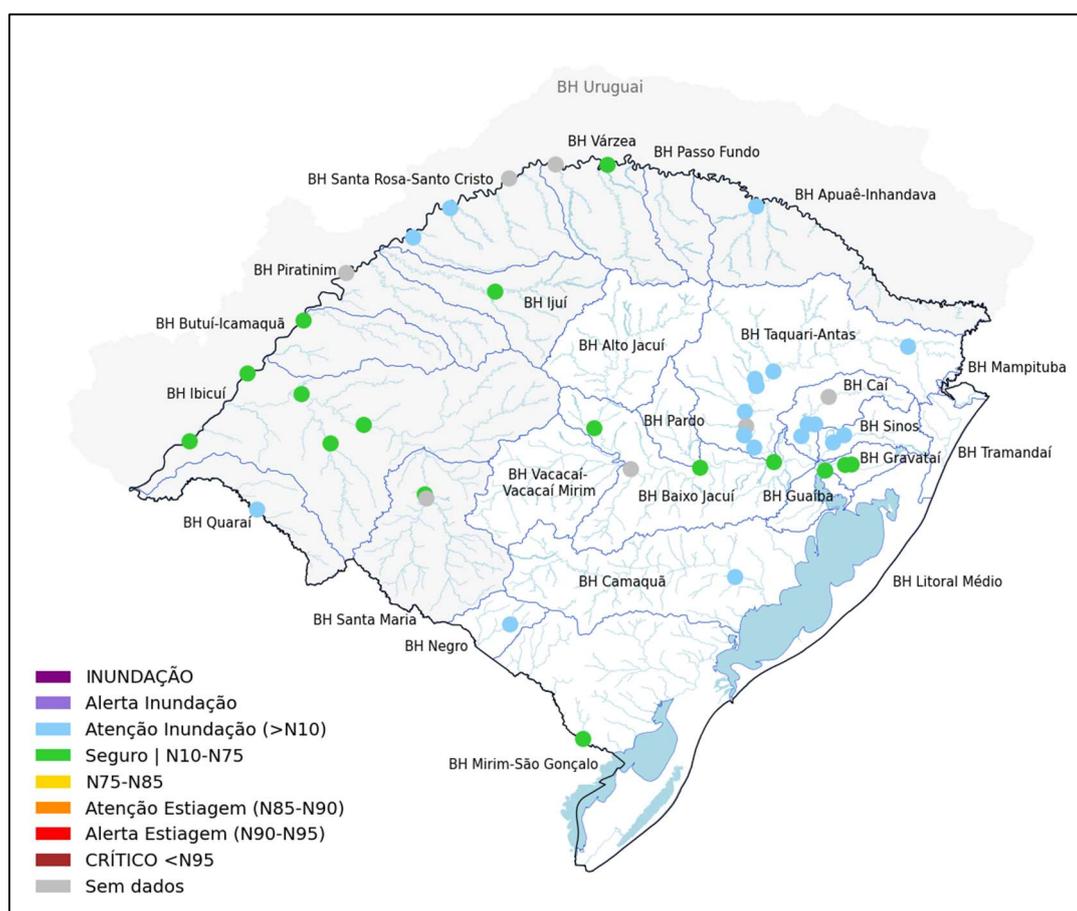


No período anterior a essas precipitações, o estado enfrentava uma situação crítica de estiagem, com déficit hídrico nos seis meses anteriores e os rios com níveis abaixo da N95. Mesmo com os volumes de chuva elevados ao longo do mês de maio, apenas as estações localizadas nas bacias do Apuaê-Inhandava, Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo, Quaraí, Taquari-Antas, Cai, Sinos, Camaquã e Negro ultrapassaram a cota de atenção, no entanto, nenhuma estação atingiu a cota de alerta.

A figura 3 apresenta os níveis máximos registrados em maio de 2023 no monitoramento hidrológico atual na sala de situação-RS. Destacam-se as 43 estações telemétricas em pleno funcionamento, que possuem séries temporais longas.

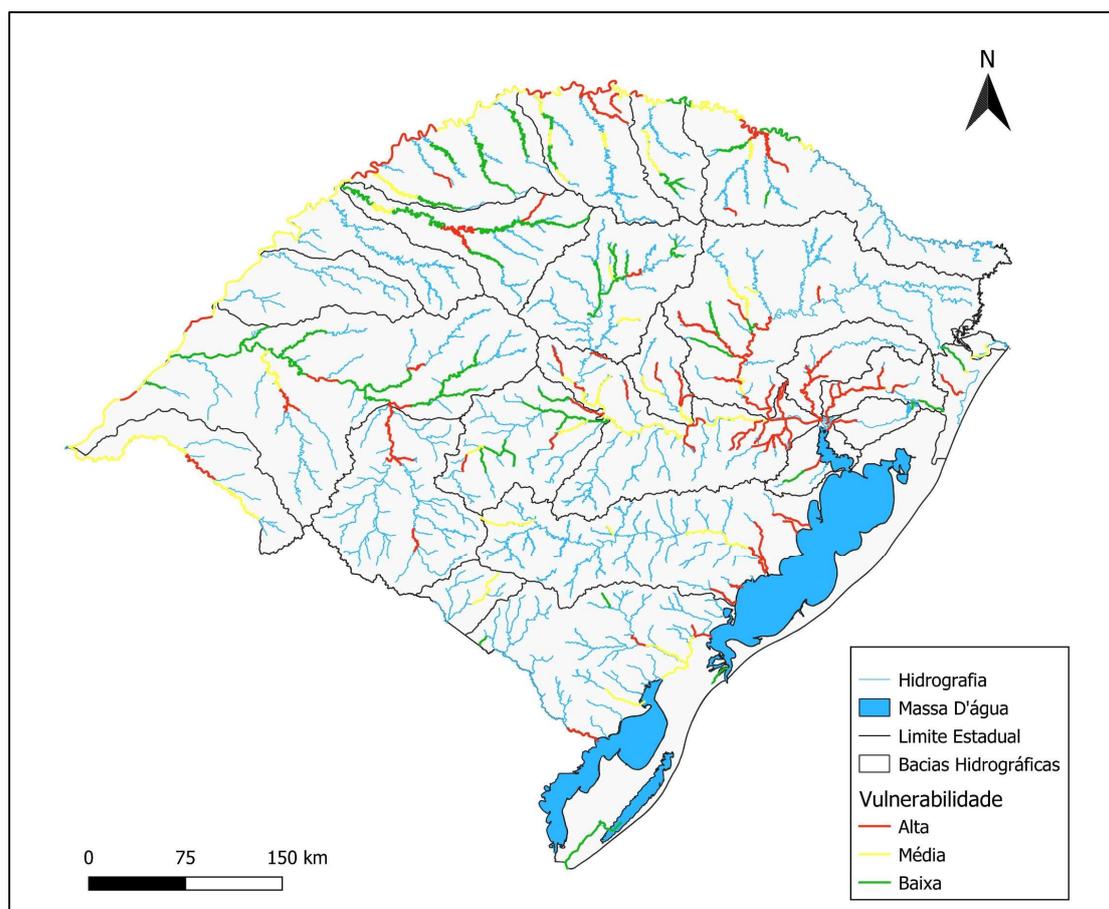
É perceptível que a região hidrográfica do Guaíba concentra a maior parte das estações, representando 53% do total. Além disso, há um número significativo de estações ao longo do rio Uruguai, totalizando 10 estações. No entanto, é evidente a baixa representatividade de estações na região hidrográfica das bacias litorâneas, com apenas 2 estações em operação.

Figura 3 - Mapa dos níveis máximos observados nas estações de monitoramentos em maio/2023.



Considerando a distribuição desigual de estações por regiões hidrográficas, será realizada uma segunda validação das novas estações com cotas de atenção. Essa validação será feita por meio o mapa de vulnerabilidade a inundações desenvolvido pela ANA (2014) e adaptado na figura 4. Nessa segunda validação, será ponderado se a expansão do monitoramento hidrológico da sala de situação-RS atingiu regiões que antes não possuíam um monitoramento próximo ou se abrangeu trechos com média e alta vulnerabilidade a inundação. Isso permitirá avaliar se as novas estações obtidas estão posicionadas em pontos de interesse fornecendo informações relevantes e auxiliando no monitoramento hidrológico.

Figura 4 - Mapa de vulnerabilidade a inundações, adaptado do mapa desenvolvido pela ANA (2014).



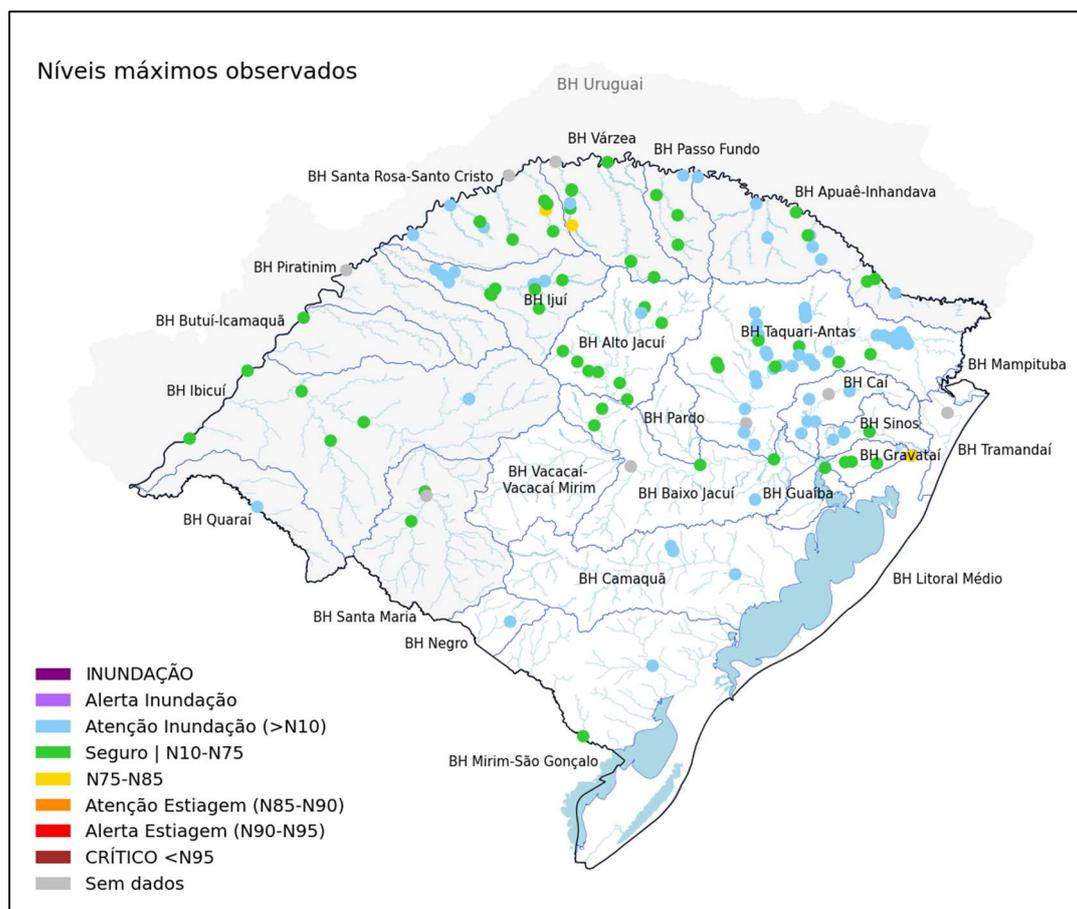
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as novas estações obtidas a partir de séries curtas houve um aumento das estações de monitoramento no estado, sendo o total de estações mais de três vezes maior, 43 para 142. Somado a isso, anteriormente 11 das 25 bacias (44%) não eram monitoradas por conta da falta de limiares, com as novas estações o número de bacias monitoradas sendo expandido para 21 bacias com monitoramento e apenas 4 bacias (16%) sem nenhuma estação.

Dentre as bacias adicionadas ao monitoramento estão as bacias do Passo Fundo, Várzea, Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo, Alto Jacuí, Litoral Médio e Tramandaí, apesar de que esta estação apresentou mal funcionamento no mês em questão. Somada ao acréscimo destas bacias, foi ampliado o monitoramento nas bacias do Apuaê-Inhandava, Ijuí e regiões de cabeceira das bacias do Taquari-Antas e Caí.

A Figura 5 apresenta o novo mapa de monitoramento hidrológico da sala de situação com o conjunto de estações de séries curtas. Observa-se que boa parte das estações adicionadas apresentaram cotas máximas em limiares próximos as estações próximas, indicando uma consistência nos níveis de água registrados e cotas calculadas. No entanto, é importante destacar as três estações amarelo: CGH Guarita Barramento João Amado, PCH Carlos Gonzatto Jusante e Stil Lagoa dos Barros. Essas três estações registraram níveis máximos de água no limiar N75-N85 e apresentaram variações pequenas em seus níveis durante o mês de monitoramento. Essas diferenças ocorreram devido à localização específica dessas estações em áreas que mitigam o aumento dos níveis de água, como a presença da Lagoa dos Barros, na estação Stil Lagoa dos Barros, e a proximidade de um barramento nas demais.

Figura 5 - Mapa dos níveis máximos observados nas estações de monitoramentos em maio/2023 com as estações de séries curtas.



Embora o número de estações tenha aumentado consideravelmente, é importante observar que a maioria das adições ocorreu nas regiões hidrográficas do Guaíba e no norte da região hidrográfica do Uruguai. Isso significa que ainda há falta de dados na metade sul do estado, onde menos estações foram adicionadas, aumentando a diferença de distribuição com a metade norte.

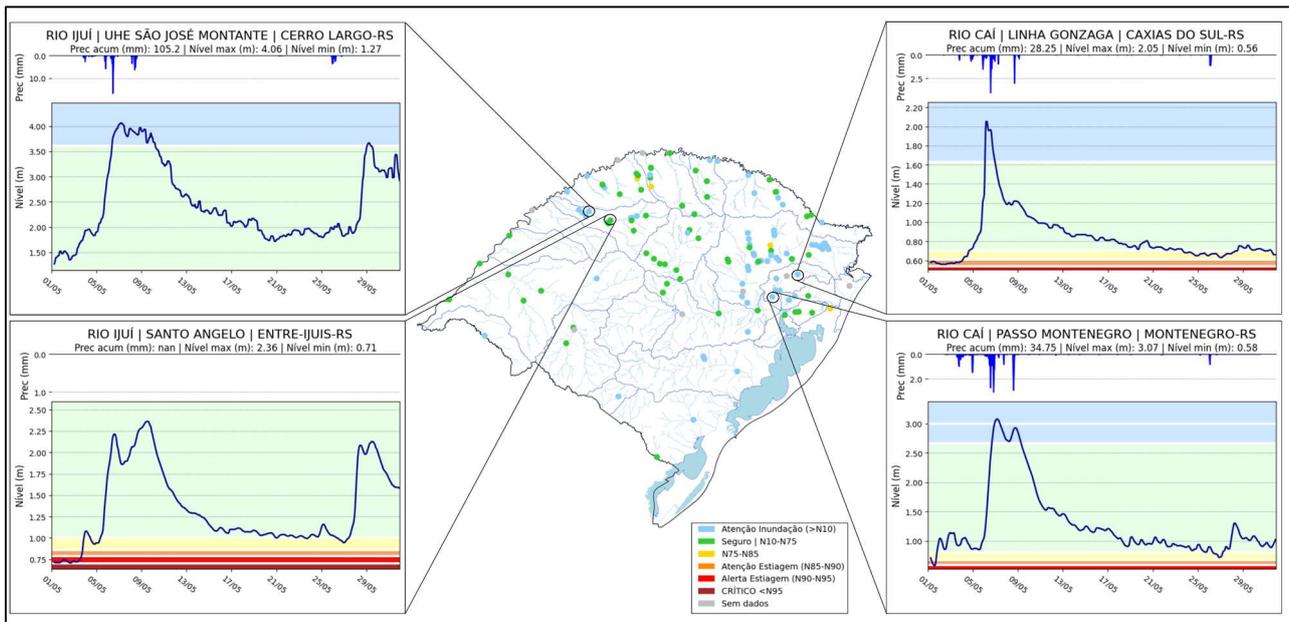
Essa distribuição desigual das estações de monitoramento se deve ao fato que 63% do total de estações são do Setor Elétrico, PCHs e UHEs, que são instaladas nas regiões citadas por conta do relevo propício para os empreendimentos, porém essa falta de dados em outras regiões implica em dificuldades para a compreensão do estado dos corpos hídricos e das bacias hidrográficas no RS. É desejável um certo equilíbrio na cobertura das estações para uma visão abrangente e precisa das condições hidrológicas em todas as regiões. porém com uma maior densidade de estações em regiões mais populosas.

A Figura 6 apresenta a comparação de hidrogramas para o mês de maio de 2023 de uma estação com série histórica curta e uma estação de controle. Os hidrogramas das estações do rio Ijuí, estação de controle a montante e estação de série curta a jusante, respectivamente Santo Ângelo e UHE São José Montante. Nos hidrogramas de estações do rio Caí essa questão se inverte, com a estação de controle a jusante e estação nova a montante, respectivamente, Linha Gonzaga e Passo Montenegro.

No caso do rio Ijuí, as estações apresentam comportamentos muito próximos, com elevação e pico na primeira metade do mês, seguida de declínio e estabilidade até a ocorrência de novo pico próximo ao final do mês. A estação com série curta ultrapassou um pouco sua cota preliminar de atenção, enquanto a estação de controle não, porém esse é um fato esperado, visto que a estação está localizada após a confluência dos rios Ijuí e Ijuizinho, apesar dessa pequena diferença a cota de atenção foi satisfatória no ponto.

No caso do rio Caí, ambas estações tiveram comportamentos similares, com uma abrupta elevação em resposta aos volumes precipitados no início do mês, com ambas atingindo os limiares de atenção, em azul antes do final do primeiro decêndio, e entrando em declínio em seguida e nos 20 dias seguintes mantendo certa estabilidade em níveis seguros ou próximos da N75-N85, respectivamente as faixas verdes e amarela nos hidrogramas. O comportamento diferente entre as estações se dá no repique de cheias apresentado na estação mais a montante, provavelmente devido as vazões de afluentes próximos.

Figura 6 – Comparativo de hidrogramas mensais de maio gerados para estações de série curta e estações de controle.



CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou o conjunto de 176 estações telemétricas disponíveis no estado do Rio Grande do Sul, afim de estimar cotas de atenção para estações telemétricas com séries curtas de dados, estações com dados acima de 5 e abaixo de 30 anos. Com esse critério foram estimadas cotas de atenção para 98 estações, sendo posteriormente validadas com o evento de chuvas volumas ocorridas em maio de 2023 e presença de estações em regiões sem monitoramento e/ou com média a alta vulnerabilidade.

Foram adicionadas 98 estações, representando um aumento de 228%. A adição desse grande conjunto de estações ao monitoramento hidrológico proporciona uma visualização mais abrangente e auxilia na tomada de decisões no envio de boletins específicos e alertas para regiões do estado do Rio Grande do Sul. Anteriormente, essas regiões seriam notificadas apenas com base nas respostas do modelo hidrológico e nas previsões de chuvas intensas, e a partir desse estudo mais rios do estado podem passar a receber alertas em tempo real. As novas cotas, entretanto, serão avaliadas nos próximos meses antes de serem inseridas no sistema de monitoramento oficial do estado.

Com o acesso a informações em tempo real fornecidas pelas estações telemétricas, será possível identificar rapidamente regiões que requerem atenção especial devido a estas cotas de atenção obtidas, ainda que requeiram cuidado extra por conta do tamanho da série histórica. Essa antecipação permite uma resposta mais eficaz por parte das autoridades competentes, possibilitando a implementação de medidas preventivas e a emissão de alertas para as áreas afetadas.

Dessa forma, o monitoramento hidrológico aprimorado por meio das cotas de atenção dessas estações telemétricas poderá contribuir para a gestão de riscos e a prevenção de desastres no estado do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). Brasil, 2019. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao>. Acesso em: 14 de maio de 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasil, 2014. VULNERABILIDADE A INUNDAÇÕES DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. [S. 1.], [s. d.]. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/e5cd6ea2-1ef6-46f9-8ec4-4f0b4bae35e8>. Acesso em: 05 jun. 2023.

BRASIL. Serviço Geológico do Brasil. Ministério de Minas e Energia (org.). SISTEMA DE ALERTA DE EVENTOS CRÍTICOS. 2021. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/sace/>. Acesso em: 22 maio 2023.

CPRM (2017). SACE – Sistema de Alerta de Eventos Críticos. Disponível em: <www.cprm.gov.br/sace>. Acesso em: 26 maio. 2023.

GERMANO, Andrea de Oliveira; MATOS, Artur José Soares (2017). Metodologia para definição de cotas de referência em sistemas de alerta e previsão hidrológica. In: XXIII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRHidro, 2017. p. 0-8

GIACOMELLI, L. *et al.* Previsão de cheias e produção de avisos no estado do rio grande do sul através da sala de situação sema/rs e modelo mgb. *Em: XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2019, FOZ DO IGUAÇU. Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.* Porto Alegre - RS: ABRHidro, 2019.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL; SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. Conselhos Regionais de Desenvolvimento – COREDEs.** ISBN: 978-65-87878-08-9. 7ª Ed. 2022. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/conselhos-regionais-de-desenvolvimentocoredes>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

TUCCI, C.E.M; SILVEIRA, A. L. L (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4º edição. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2012.