

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

QUANTIFICAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÕES A PARTIR DE DADOS HISTÓRICOS DE CHEIAS E DANOS HUMANOS

*Alan Vaz Lopes¹; Bruno Bernardo dos Santos²; Geraldo José Lucatelli Doria de Araújo Júnior³;
Marcos Airton de Sousa Freitas⁴; Maurício Cesar Rebello Cordeiro⁵; Paulo Roberto Ungaretti⁶ &
Vinicius Roman*

Abstract: Quantifying flood risks remains a challenge in regions where there are no hydraulic modeling studies of flooded areas, mainly due to the lack of topographic and other data necessary for the preparation of such studies. This article presents a methodology for quantifying the hydrological risk of floods by combining historical data on observed floods and human damage reported to the national civil defense. Based on the selection of reference fluvimetric stations for each municipality, flood probability curves were adjusted to the historical series of annual maximum flows. Based on these curves, the return period or recurrence interval of each flood or flash flood event were estimated by associating the dates of the disaster and the observed flood peak. The risk of each event was then computed by the product of the inverse of the return period (probability) by the total number of homeless and displaced people (damage) reported as associated with the disaster. Finally, for each municipality, the highest risk event was selected for classification according to predefined risk ranges. The methodology was applied to municipalities in Rio Grande do Sul, resulting in estimates of flood risks for 160 municipalities, which corresponds to 56% of municipalities with floods or flash floods with human damage recorded in the integrated disaster information system (S2iD). Thus, the new methodology allows the quantification of flood risks in regions with historical records of damage, but without hydraulic modeling studies of potentially flooded areas.

Resumo: A quantificação de riscos de inundações permanece como um desafio em regiões onde inexistem estudos de modelagem hidráulica de áreas inundadas, principalmente em razão da ausência de levantamentos topográficos e outros dados necessários para elaboração desses estudos. Este artigo apresenta uma metodologia para quantificação do risco hidrológico de inundações combinando dados históricos de cheias observadas e de danos humanos reportados à defesa civil nacional. A partir da seleção de estações fluviométricas de referência para cada município, foram ajustadas curvas de probabilidade de cheias às séries históricas de vazões máximas anuais. Com base nessas curvas, foram estimados os tempos de retorno de cada evento de inundações ou enxurrada, pela associação das datas do desastre e do pico de cheia observado. O risco de cada evento foi então computado pelo produto do inverso do tempo de retorno (probabilidade) pelo total de desabrigados e desalojados (dano) reportado como associado ao desastre. Por fim, para cada município, foi selecionado o evento de maior risco, para fins de classificação segundo faixas de risco pré-definidas. A metodologia foi aplicada aos municípios do Rio Grande do Sul, resultando em estimativas de riscos de inundações para 160 municípios, o que corresponde a 56% dos municípios com inundações ou enxurradas com danos

-
- 1) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e-mail: vazlopes@ana.gov.br
 - 2) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e-mail: bruno.bernardo@ana.gov.br
 - 3) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e-mail: geraldo.lucatelli@ana.gov.br
 - 4) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e-mail: masfreitas@ana.gov.br
 - 5) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e-mail: mauricio@ana.gov.br
 - 6) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e-mail: paulo-roberto.ungaretti@ana.gov.br
 - 7) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e-mail: vinicius.roman@ana.gov.br

humanos registrados no sistema integrado de informações sobre desastres (S2iD). Dessa forma, a nova metodologia permite a quantificação de riscos de inundação em regiões com registros históricos de danos, mas sem estudos de modelagem hidráulica de áreas potencialmente inundadas.

Palavras-Chave – Risco de Inundação, Cheias, Vulnerabilidade

INTRODUÇÃO

Segundo dados do Atlas Digital de Desastres no Brasil do Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional (MIDR) (Brasil, 2023), entre 1991 e 2024, mais de 6,8 milhões de pessoas foram diretamente afetadas por inundações e enxurradas no Brasil, incluindo 6,3 milhões de desalojados e desabrigados e 2531 óbitos. Somente em 2024, mais de 107 mil pessoas foram desabrigadas ou desalojadas por eventos de inundações e enxurradas.

A magnitude desses impactos de eventos de inundação e enxurradas tem aumentado ao longo da última década e tendem a aumentar no futuro, em decorrência das mudanças climáticas e seus efeitos sobre o regime de chuvas e a intensificação dos eventos hidrológicos. Espera-se que a mudança do clima, ao alterar o regime de chuvas, contribua para o aumento da frequência e intensidade de chuvas e cheias, resultando em maior incidência e impactos de inundações e enxurradas (IPCC, 2023). No Brasil, estudos indicam que, em algumas regiões, as vazões de cheia podem aumentar em 20% e serem até 5 vezes mais frequentes, em decorrência da mudança do clima (ANA, 2025).

Entretanto, a quantificação de riscos permanece como um desafio em grande parte das regiões vulneráveis a inundações, uma vez que dependem de estudos de modelagem hidrológica e hidráulica para determinação de áreas potencialmente inundadas e sua correspondente probabilidade de ocorrência (Snikitha et al, 2024). Além de dados de monitoramento hidrológico, para fins de calibração, tais estudos requerem e levantamentos topobatimétricos ou modelos digitais de terreno em escala adequada, inexistentes em grande parte do território nacional. Modelos simplificados têm sido propostos para desenvolvimento de manchas de inundação (Shi et al, 2025), mas ainda demandando significativo esforço computacional e dependendo de modelos digitais de terreno adequados, ou aplicação de outros métodos baseados em sensoriamento remoto e técnicas de machine learning que requerem grandes bases de dados (Islam et al, 2025).

A quantificação de riscos requer, ainda, o levantamento de dados sobre a população residente na área inundável e danos humanos e materiais decorrentes de inundações, dados também inexistentes, exceto quando estudos específicos são realizados. Centenas de levantamentos de áreas de risco e da população potencialmente afetada têm sido feitos pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB). Entretanto, tais levantamentos requerem campanhas de campo, delimitação de áreas sob risco usando técnicas de geoprocessamento e sistemas de informações geográficas, e resultam em avaliações qualitativas de risco (SGB, 2021).

Nesse contexto, este artigo apresenta uma metodologia para quantificação do risco de inundações combinando dados históricos de cheias observadas e de danos humanos reportados à defesa civil nacional, e uma aplicação aos municípios do Rio Grande do Sul. O método busca associar cada desastre e dano reportado a uma probabilidade de ocorrência, e quantificar o risco pelo produto entre o dano e a probabilidade. Essa quantificação permite a classificação de um grande número de municípios em diferentes categorias de risco, apoiando, assim, a priorização de estratégias de redução de impactos de inundações.

METODOLOGIA

De maneira geral, o método proposto consiste em um conjunto de procedimentos semiautomatizados que resultam na estimativa do risco de inundação de um determinado município. O risco é estimado pelo produto do total de danos humanos reportado em cada desastre pela sua probabilidade de ocorrência, que é obtida pela análise de frequência de cheias observadas em postos fluviométricos próximos a cada área urbana. Mais especificamente, o método compreende cinco etapas, detalhadas a seguir: (i) Levantamento de dados históricos de desastres; (ii) Seleção das estações fluviométricas e séries de vazões médias diárias passíveis de utilização para cada município em estudo; (iii) Estudo hidrológico para cada uma das estações selecionadas, abrangendo cálculo das vazões máximas anuais e tempos de retorno; (iv) Associação dos eventos de desastres às vazões máximas e estimativa de suas probabilidades de ocorrência; (v) Quantificação e classificação do risco pela seleção do evento de maior risco.

Dados Históricos de Desastres de Inundações e Enxurradas

Como dano humano associado a cada desastre, foi considerado o número de pessoas desabrigadas e desalojadas reportado no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID, da Secretaria de Proteção e Defesa Civil do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR). Esses dados foram consolidados no Atlas Digital de Desastres, que está disponível publicamente na Internet e contém dados dos desastres que foram objeto de situações de calamidade pública ou emergência reconhecidas pelo governo federal desde 1991.

O Atlas Digital de Desastres surgiu a partir de uma cooperação técnica entre o Banco Mundial e a Universidade Federal de Santa Catarina, por meio do Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil (Ceped/UFSC), e possui diversas tipologias de desastres, não apenas hidrológicos. Como o objetivo deste artigo é estimar o risco associado ao transbordamento da calha fluvial, foram utilizados os dados de desastres relacionados à tipologia de inundações ou enxurradas registradas no Rio Grande do Sul. Destaca-se que desastres registrados como chuvas intensas não foram considerados, pois se trata de uma tipologia de desastre meteorológico que pode causar múltiplos impactos, hidrológicos e geológicos, o que dificulta sua utilização.

Seleção de Estações Fluviométricas e Dados Históricos de Cheias

O processo proposto para identificação de estações fluviométricas que possam ser utilizadas para calcular a probabilidade de ocorrência da cheia associada a cada evento é inteiramente automatizado por meio de processamento geográfico.

Dentre as estações da rede hidrometeorológica nacional disponíveis na base do sistema Hidroweb (disponível em <https://www.snh.gov.br/hidroweb/>), foram filtradas aquelas que estão em operação e possuem no mínimo de 20 anos de dados históricos de vazões médias diárias. Em seguida, para cada município, foram identificadas todas as estações que se encontram a montante e a jusante dos trechos de rios que tocam a mancha urbana principal (considerada com a que concentra pelo menos 65% da área urbana total do município). Esse processamento foi realizado utilizando-se o conceito de hidrorreferenciamento, a partir da codificação de trechos de rio disponível na Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO), versão 6 (ANA, 2022).

Como pode haver inúmeras estações identificadas, buscou-se filtrar aquelas mais próximas da área urbana, considerando-se: (i) em cada curso d'água, apenas a estação mais próxima da área urbana; (ii) apenas estações dentro de uma distância máxima linear de 100 km entre as estações a jusante e a montante; (iii) apenas estações dentro de um raio de 50km.

O resultado da aplicação dos filtros acima é ilustrado na Figura 1, correspondente ao município de Alvorada (RS). Na figura, pode-se observar o sombreamento rosado, que indica a área a montante da área urbana. O rio a jusante, pode ser observado com uma linha mais escura, até o limite de 100km da área urbana. Por fim, a área de maior proximidade (50km), está indicada pelo tracejado vermelho. As estações marcadas com triângulos vermelhos indicam aquelas que foram selecionadas pelo algoritmo para prosseguir na análise. Em complemento à visualização geográfica, diversas informações relevantes, tais como período de operação, percentual de falhas e área de drenagem, dentre outras, também foram geradas automaticamente.

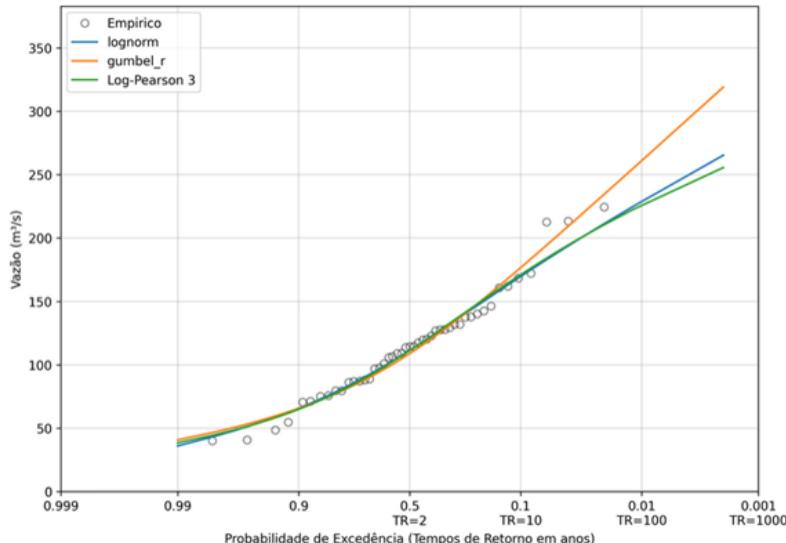


Figura 1. Estações de referência selecionadas (em vermelho) para o município de Alvorada (RS).

Estudo de Vazões Máximas e Tempos de Retorno

Uma vez selecionadas as estações candidatas a serem utilizadas como referência para um determinado município, a etapa seguinte consistiu em calcular os tempos de retorno das máximas vazões anuais para cada uma dessas estações. Para isso, foram utilizadas as séries de vazões médias diárias registradas no sistema Hidroweb da ANA, agrupados por anos hidrológicos, para obtenção das vazões máximas diárias em cada ano hidrológico, obtendo-se séries de vazões máximas anuais.

Para determinação do tempo de retorno das vazões máximas, foram ajustadas distribuições de Gumbel, Log-Pearson 3 e Log-Normal às séries de vazões máximas anuais de cada estação. Para aferir a qualidade da aderência das distribuições teóricas ajustadas aos valores máximos de vazão, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov bilateral. A distribuição Log-normal foi então escolhida como sendo uma distribuição com melhor aderência para a maioria das estações analisadas. A Figura 2 ilustra as distribuições ajustadas para a estação fluviométrica 87399000, selecionada para o município de Alvorada.



Teste de Kolmogorov-Smirnov

Tamanho da amostra (N): 47

Valor crítico (Dc): 0.1984

Lognorm: Estatística (D) = 0.0644

Gumbel_r: Estatística (D) = 0.0882

Log-peerson 3: Estatística (D) = 0.0716

Figura 2. Ajustes das distribuições Log-Normal, Gumbel e Log-Pearson 3 para as vazões máximas observadas na estação fluviométrica 87399000, e respectivos resultados do teste Kolmogorov-Smirnov.

É importante destacar que o teste estatístico utilizado de Kolmogorov-Smirnov não identifica os possíveis outliers presentes nos dados hidrológicos. Essas vazões, embora anômalas, podem ter, de fato, ocorrido devido a eventos extremos, a exemplo das observadas no estado do Rio Grande do Sul nos anos de 2023 e 2024. Diante disso, em algumas estações fluviométricas, os ajustes estatísticos da distribuição de probabilidade não se adequaram tão bem aos pontos extremos, resultando em valores superestimados para os tempos de retorno. Nesses casos, ao usar a distribuição Log-normal, limitou-se o tempo de retorno máximo a 100 anos, em favor da segurança.

Associação de Eventos de Desastres e de Cheias

Essa etapa consistiu em atribuir o tempo de retorno aos desastres registrados. Para tanto, foi necessário adotar uma janela de seleção da vazão associada ao desastre, tendo em vista a dificuldade de se associar o evento ao correspondente pico de vazão, considerando que nem sempre a data de registro do desastre era igual à data da vazão máxima. Conforme ilustrado na Figura 3, para uma determinada data do desastre, selecionou-se a maior vazão observada no período de 3 meses anteriores ao evento e 1 mês posterior ao evento (totalizando uma janela de 4 meses), atribuindo-se ao evento o tempo de retorno desta vazão selecionada.

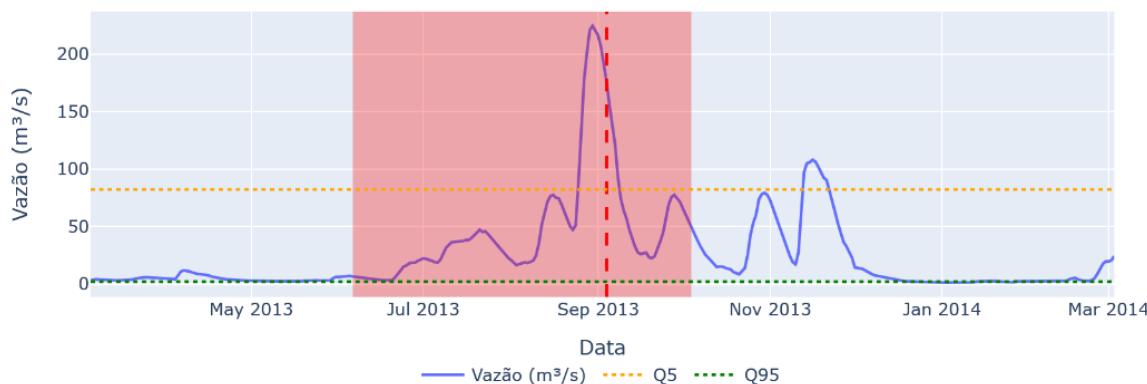


Figura 3. Associação do desastre de inundação de 04/09/2013 registrado no município de Alvorada (RS) à vazão máxima anual de 225 m³/s observada na estação fluviométrica 87399000, em 30/8/2013, em comparação com as vazões com Q5 e Q95, com 5% e 95% de permanência, respectivamente.

Tabela 1 mostra um exemplo dos desastres reportados em Alvorada (RS) com os respectivos tempos de retorno calculados a partir da estação fluviométrica 87399000. Os dados permitem obter valores de risco de cada evento, pelo produto do total de danos humanos pela sua probabilidade de ocorrência, estimada pelo inverso do tempo de retorno da vazão máxima selecionada.

Tabela 1. Desastres, danos humanos reportados no S2iD e respectivos tempos de retorno (TR) e riscos estimados, obtidos pelas distribuições empírica e lognormal, associados ao município Alvorada/RS, com base nos dados de vazões observadas na estação fluviométrica 87399000.

Data do evento	Danos humanos	Tipologia	Vazão máxima (m ³ /s)	Data do Pico	TR (Empírico)	TR (Lognormal)	Risco
18/11/2023	1.129	Inundação	172	15/9/2023	12	11	103
21/10/2015	10.684	Inundação	213	24/7/2015	24	52	204
21/7/2015	11.351	Inundação	213	24/7/2015	24	52	217
4/9/2013	1.388	Inundação	225	30/8/2013	48	83	17
15/6/2012	1.200	Inundação	162	22/9/2012	8	7,7	155
5/1/2010	0	Enxurrada	107	25/7/2010	1,7	1,8	0

Após o estudo hidrológico e a estimativa da probabilidade de ocorrência dos desastres, escolheu-se a estação de referência mais adequada para o cálculo do risco para o município, quando havia mais de uma estação identificada. Essa etapa foi realizada manualmente por inspeção visual da coerência entre a magnitude de vazões e danos associados, buscando-se selecionar somente as estações que estivessem obrigatoriamente a jusante ou a montante da área urbanizada do município. Caso houvesse mais de uma estação atendendo a essa primeira condição, selecionou-se a estação com melhor ajuste da distribuição Log-normal.

Por fim, na existência, ainda, de várias estações com ajuste satisfatório, selecionou-se aquela com maior tempo de retorno médio considerando-se todos os desastres do município. Essa proposta baseia-se na hipótese de que estações que não representam corretamente o município não irão apresentar um tempo de retorno elevado nos desastres.

Quantificação e Classificação do Risco

Partindo das associações dos desastres às vazões máximas observadas na estação de referência selecionada, foi possível realizar o cálculo do risco para cada um dos desastres. Idealmente, caso houvesse um número suficientemente grande de eventos registrados, cobrindo uniformemente todo o espectro de probabilidades, seria possível estimar o risco total para cada município, pelo somatório dos danos reportados, ponderados pelas suas probabilidades de ocorrência.

Contudo, em muitos municípios, há poucos eventos registrados, em quantidade insuficiente para se calcular corretamente o risco total. Dessa forma, optou-se por selecionar o evento de maior risco estimado, como indicador para classificação do município, em favor da segurança. O evento de maior risco pode corresponder a um desastre com poucos afetados, mas com alta probabilidade de ocorrência (por exemplo, com menos de 5 anos de tempo de retorno), ou a um desastre com muitos afetados e baixa probabilidade (por exemplo, com mais de 50 anos de tempo de retorno).

Eventos com tempo de retorno inferiores a 3 anos não foram considerados, tendo em vista que podem indicar falhas na seleção da vazão de cheia ou nos dados sobre o desastre (como data, total de danos e tipologia). Isso porque esses eventos ocorrem com elevada frequência e, em geral, não devem estar associados a danos relevantes à população e à infraestrutura, embora possam ter danos erroneamente registrados. Eventos com recorrência praticamente anual integram a dinâmica média natural do regime fluvial, não representando, na prática, situações de risco elevado.

Com base no maior risco plausível selecionado para cada município, atribuiu-se uma categoria de risco adotando-se a classificação apresentada na Tabela 2. Nessa tabela, os limiares foram definidos considerando como primeiro patamar de risco relevante a situação de 100 pessoas afetadas por uma cheia com 50 anos de tempo de retorno, o que corresponde a um risco de 2 pessoas, o que corresponde ao número esperado de afetados anualmente, em média. Assume-se aqui que, para fins de classificação, nesse patamar, já existe risco relevante de inundação, mas que pode ser considerado baixo. A partir desse patamar, foram definidas categorias superiores de risco a cada aumento de ordem de magnitude. Para fins de exemplo, a Tabela 2 apresenta o dano esperado em cada categoria de risco para cheias extraordinárias e frequentes, com tempos de retorno de 50 e 5 anos, respectivamente.

Tabela 2. Categorias de risco adotadas para classificação dos municípios.

Categoria de risco	Risco	Dano esperado para cheia com TR=50 anos	Dano esperado para cheia com TR=5 anos
Baixo	< 2	< 100	< 10
Médio	2 a 20	100 a 1000	10 a 100
Alto	20 a 200	1000 a 10000	100 a 1000
Muito Alto	> 200	> 10000	> 1000

RESULTADOS

As inundações que atingiram o Estado do Rio Grande do Sul no ano de 2024 representaram um dos eventos hidrológicos extremos mais devastadores já registrados no Brasil, com chuvas de intensidade e duração significativas, afetando 478 dos 497 municípios do Estado (ANA, 2025). Dessa forma, considerando a magnitude dos eventos, aplicou-se a metodologia de quantificação do risco hidrológico de inundações e enxurradas aos municípios do Rio Grande do Sul.

De 1991 a 2023 foram registrados no Atlas Digital de Desastres 746 desastres de inundações e enxurradas com dados sobre o número de desabrigados e desalojados em cada evento, abrangendo 285 municípios do Rio Grande do Sul. Do total de desastres, 48% tiveram menos do que 100 desabrigados e desalojados (em 228 municípios), 38% tiveram entre 100 e 1000 desabrigados e desalojados e 14% tiveram mais do que 1000 desabrigados e desalojados (45 municípios). Ressalta-se que este trabalho não considerou os eventos de 2024, uma vez que na data do processamento não havia informações do respectivo ano no Atlas Digital de Desastres no Brasil, que foram disponibilizados em maio de 2025.

Em 160 dos municípios gaúchos foi possível associar uma estação fluviométrica de referência, localizada logo à jusante ou à montante da principal área urbana do município e com dados suficientes para análise da frequência de cheias. Assim, foi possível aplicar a metodologia de quantificação de riscos em 56% dos municípios que tiveram desastres reportados com desabrigados ou desalojados.

Nesses municípios, foram selecionados 190 desastres de maior risco, sendo 61 inundações e 129 enxurradas. Dessa forma, em 30 municípios, houve tanto inundações como enxurradas selecionadas como eventos de maior risco. Em relação ao tempo de retorno (TR) desses desastres de maior risco, foi possível verificar que em 26% (50 desastres) referem-se a eventos frequentes, com tiveram TR até 5 anos, como ilustrado na Figura 4. Os desastres ainda relativamente frequentes, com TR até 10 anos, totalizam 54% do total (102 desastres). Os desastres mais raros, com TR entre 10 e 50 anos correspondem a 34% do total, e os eventos extraordinários, com TR acima de 50 anos, são apenas 13% do total.

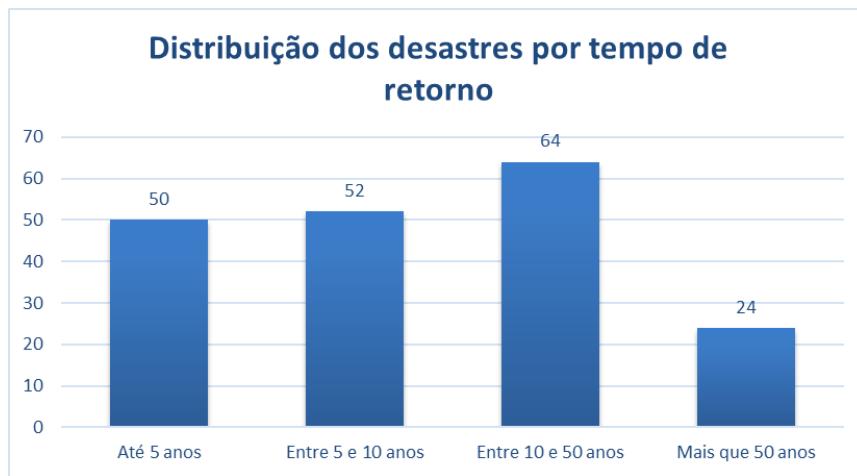


Figura 4. Número de desastres por faixa de tempo de retorno associado à vazão máxima.

Aplicando-se as categorias de risco da Tabela 2, foram obtidos os quantitativos de municípios por classe de risco e tipologia de desastre apresentados na Tabela 3 a seguir. Assim, foram identificados 61 municípios com risco de inundações, sendo 24 classificados como de risco alto e 13 como muito alto, e 129 municípios com risco de enxurradas, sendo 27 com risco alto e 6 com risco muito alto. A distribuição espacial desses resultados é ilustrada nas Figuras 5 e 6, que apresentam mapas com a classificação de risco para os municípios em que foi possível aplicar o método proposto, para os eventos de inundações e de enxurradas, respectivamente.

Em relação às inundações, foi possível verificar que os riscos mais altos se concentram ao longo do rio Uruguai e em municípios situados na Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, nas Unidades de Planejamento Hidrológico (UPH) do Taquari-Antas, Caí, Sinos, e Gravataí, entre outras. A UPH Taquari-Antas é a que apresenta maior quantitativo de municípios com risco muito alto ou alto (7 municípios), seguido da UPH Sinos (5 municípios) e da UPH Ibicuí (4 municípios).

Quanto às enxurradas, foi possível constatar que os eventos de enxurradas também ocorrem com maior magnitude nas UPHs citadas acima. Contudo, um maior número maior de municípios com risco de enxurradas foi identificado na porção centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul. Entende-se que o resultado é coerente, uma vez que essa região compreende áreas serranas, que favorecem escoamento superficial acelerado e o desencadeamento de enxurradas. Nesse caso, a UPH do Sinos apresentou maior quantitativo de municípios com risco muito alto ou alto (7 municípios), seguido do Baixo Jacuí (4 municípios).

Tabela 3. Classificação dos municípios por classe de risco e tipologia de desastre.

Classificação de risco	Municípios com risco de inundações	Municípios com risco de enxurradas
Baixo	10	44
Médio	14	52
Alto	24	27
Muito Alto	13	6
TOTAL	61	129

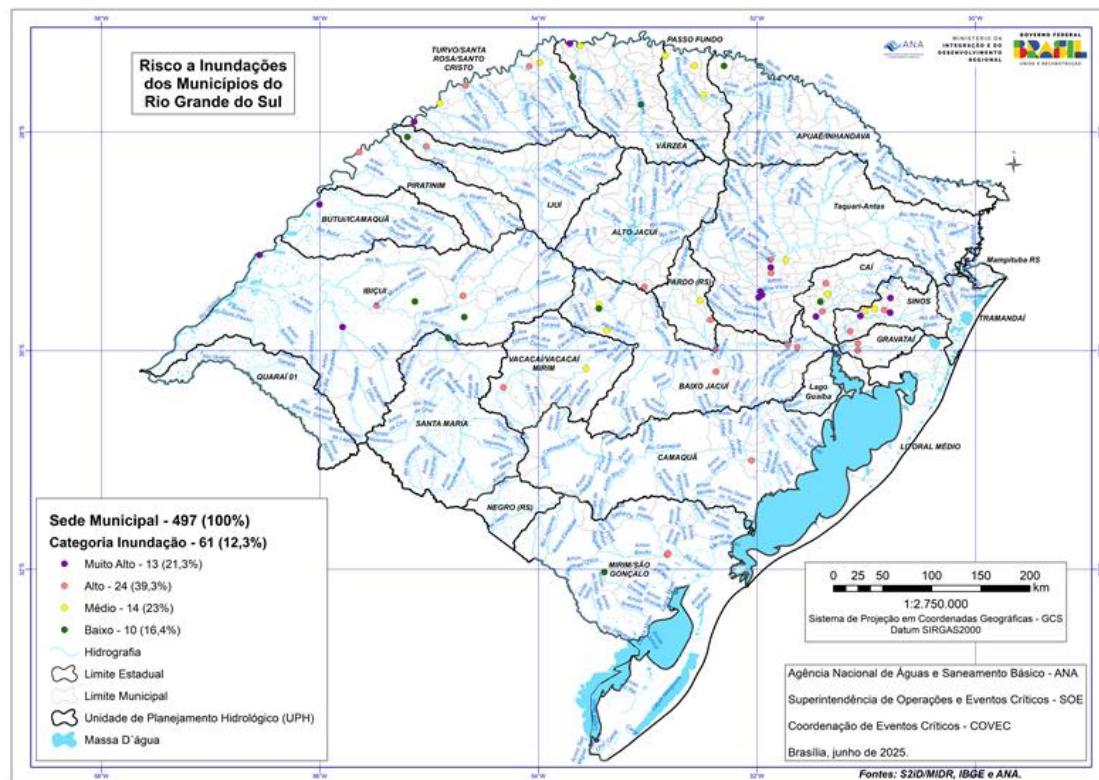


Figura 5. Classificação de riscos a inundações em cada município do Rio Grande do Sul.

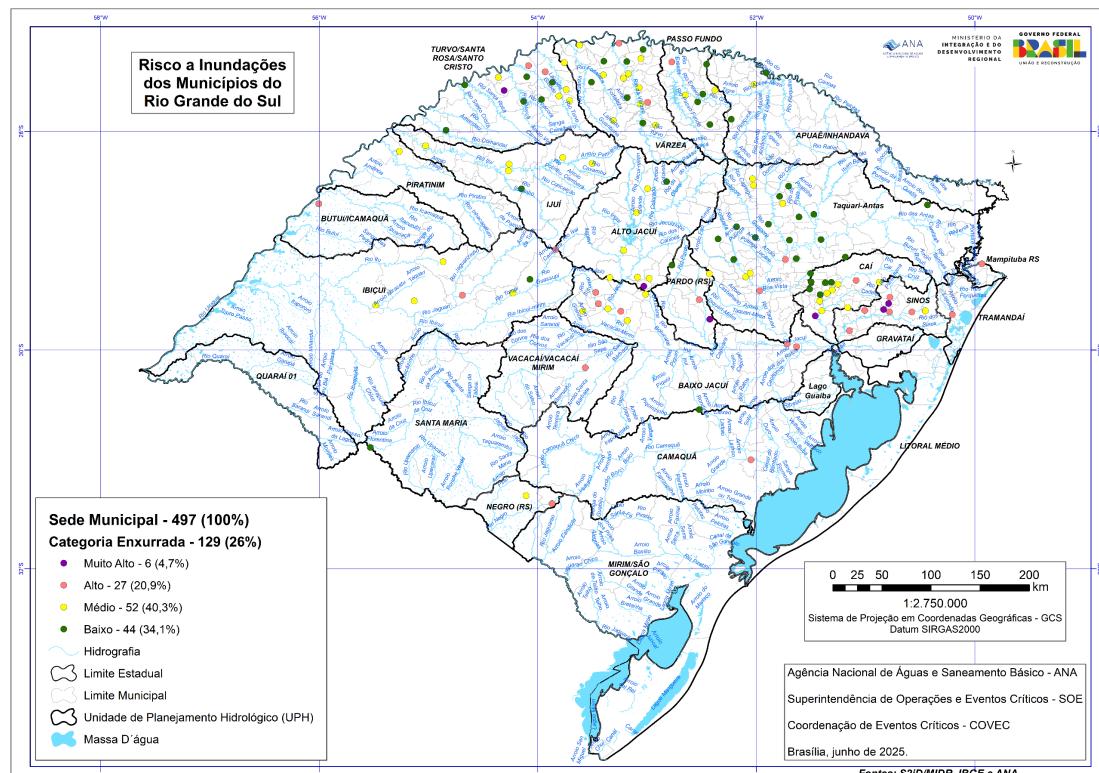


Figura 6. Classificação de riscos a enxurradas em cada município do Rio Grande do Sul.

CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida permitiu quantificar os riscos a partir do histórico de eventos de cheia e respectivos danos de inundações para grande parte dos municípios, o que é particularmente útil quando não há estudos de manchas de inundações, associados aos diversos períodos de retorno. Para a estimativa dos riscos foram utilizados os dados registrados no Atlas Digital de Desastres de 1991 a 2023, para as tipologias de desastres classificadas como inundações e enxurradas e os danos relacionados ao número de desabrigados e desalojados reportados em cada evento.

Posto que as inundações que atingiram o Estado do Rio Grande do Sul nos últimos anos representaram eventos hidrológicos extremos, buscou-se aplicar e testar a metodologia proposta para esse estado, permitindo a identificação de municípios com risco baixo, médio, alto e muito alto, quanto aos riscos.

À medida em que mais informações sobre impactos de inundações em cada município sejam produzidas e repostadas, e que os dados do S2iD sejam consistidos e aprimorados com a incorporação de novos registros de desastres, entende-se que seria possível aperfeiçoar a metodologia, de modo a se obter curvas de dano *versus* tempo de retorno, permitindo assim o cálculo do risco hidrológico total pelo somatório dos eventos, e não apenas considerando aquele de maior risco.

REFERÊNCIAS

- ANA (2022). Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO), versão 6.2.4. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em <https://metadados.snh.gov.br/>.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil) (2025). *As enchentes no Rio Grande do Sul: lições, desafios e caminhos para um futuro resiliente*. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. – Brasília: ANA, 2025. 57 p.:
- BRASIL (2023). Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. *Atlas Digital de Desastres no Brasil*. Brasília: MIDR.
- IPCC (2023): “Summary for Policymakers”. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Islam, T., Zeleke, E.B., Afroz, M., Melesse, A.M. (2025). A Systematic Review of Urban Flood Susceptibility Mapping: Remote Sensing, Machine Learning, and Other Modeling Approaches. *Remote Sens.* 2025, 17, 524.
- SGB (2021). Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial. Volume 3 Versão 1 - Setorização de Áreas de Risco. Serviço Geológico do Brasil.
- Shi, P., Lyu, K., Li, Z., Yang, T., Xu, C.-Y., Hao, X., & Xiao, J. (2025). A novel topography-based approach for real-time flood inundation mapping. *Water Resources Research*, 61, e2024WR037851.
- Snikitha, S., Kumar, G.P., Dwarakish, G.S. (2024). A Comprehensive Review of Cutting-Edge Flood Modeling Approaches for Urban Flood Resilience Enhancement. *Water Conservation Science and Engineering*, 10:2.