

SUGESTÕES ÀS COMUNIDADES LOCAIS SOBRE A GESTÃO DE RISCO DE DESASTRES COM BASE EM EXPERIÊNCIAS *IN SITU* DURANTE A TRAGÉDIA DE 2024 NO RIO GRANDE DO SUL

SUGGESTIONS TO LOCAL COMMUNITIES ON DISASTER RISK MANAGEMENT BASED ON *IN SITU* EXPERIENCES DURING THE 2024 TRAGEDY IN RIO GRANDE DO SUL

SUGERENCIAS PARA LAS COMUNIDADES LOCALES SOBRE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES, CON BASE EN EXPERIENCIAS *IN SITU* DURANTE LA TRAGEDIA DE 2024 EN RIO GRANDE DO SUL

SUGGESTIONS AUX COMMUNAUTÉS LOCALES EN CE QUI CONCERNE LA GESTION DES RISQUES DE DÉSASTRES SUR LA BASE D'EXPÉRIENCES *IN SITU* LORS DE LA TRAGÉDIE DE 2024 DANS L'ÉTAT DE RIO GRANDE DO SUL

Masato Kobiyama¹

Rossano Dalla Lana Michel²

Caroline Hipólito Flores³

Alessandro Gustavo Franck⁴

Fernando Campo Zambrano⁵

1 Professor, Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Bolsista do CNPq. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0615-9867>. E-mail: masato.kobiyama@ufrgs.br.

2 Doutorando, Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN), Instituto de Geociências (IGeo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7767-6189>. E-mail: rossanodlm@gmail.com.

3 Graduanda, Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Bolsista do CNPq. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4699-7047>. E-mail: carollflores22@gmail.com.

4 Doutorando, Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Bolsista da CAPES. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6390-6956>. E-mail: franck.alessandro.g@gmail.com.

5 Doutorando, Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Bolsista da CAPES. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6481-9232>. E-mail: fernando.zambrano@ufrgs.br.

“Quando vou a um país, não examino se tem boas leis, mas se são executadas as leis existentes, porque leis boas há por toda parte...”
Montesquieu (1689 - 1755)

Introdução

Historicamente, o estado do Rio Grande do Sul (RS) sofre com eventos hidrológicos extremos, caracterizados pela ocorrência de chuvas intensas que provocam desastres naturais. Entre os meses de abril e maio de 2024, o estado foi submetido novamente aos impactos da ocorrência de fortes chuvas que desencadearam um grande número de movimentos de massa e inundações, especialmente na região centro-nordeste do estado, abrangendo a Região Hidrográfica do Guaíba. Os registros históricos demonstram que a maioria desses eventos ocorreram durante períodos de El Niño, com os eventos mais recentes intensificados por mudanças climáticas antropogênicas (Clarke *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2023). Além disso, especialmente na região metropolitana de Porto Alegre, falhas nas infraestruturas, como diques e sistemas de proteção contra inundações, agravaram ainda mais a magnitude da tragédia de 2024 (Clarke *et al.*, 2024).

A grande inundação registrada em Porto Alegre no ano de 1941, utilizada como referência de calamidade pela população gaúcha, era considerada o maior desastre natural da história do RS (Guimaraens, 2009; Silveira *et al.*, 2023). Entretanto, Collischonn *et al.* (2024) a partir de análise comparativa entre os eventos extremos de 1941 e 2024, utilizando dados pluviométricos disponíveis para a bacia hidrográfica do Guaíba, concluíram que o valor médio da precipitação nessa bacia durante o evento de 2024 foi maior do que o de 1941.

Segundo a Defesa Civil RS (2024), os números causados pelo impacto da tragédia de 2024 são, até o dia 20 de agosto de 2024, 183 óbitos confirmados, 27 desaparecidos, 806 feridos e 2.398.255 afetados, distribuídos em 478 dos 497 municípios do estado. Em termos de número de óbitos por município, os municípios mais afetados foram Canoas, Roca Sales e Cruzeiro do Sul, com 31, 14 e 13 óbitos, respectivamente. Em Canoas, esse número expressivo de óbitos resultou do rompimento dos diques dos bairros Rio Branco, Fátima e Mathias Velho (Becker, 2024).

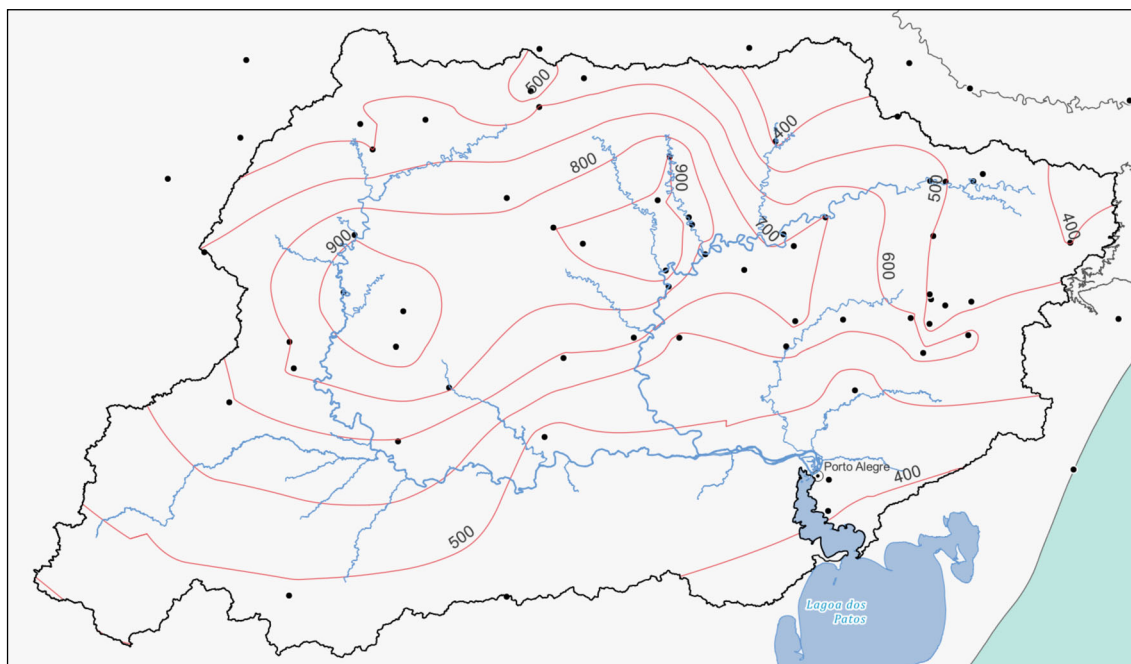
Devido à distribuição temporal e a grande área afetada pelas chuvas intensas, é difícil pontuar quando e onde a tragédia começou – e ainda mais difícil definir quando e onde ela terminará. O G1 RS (2024) relata que no dia 27/04, a chuva começou de maneira intensa no município de Santa Cruz do Sul, na região dos Vales. No dia 29/04, pela tarde, a chuva se intensificou, e a partir do dia 30/04 pela manhã, diversos municípios do Vale do Taquari começaram registrar ocorrências de enxurradas (inundações bruscas) e movimentos de massa, como escorregamentos translacionais e rotacionais, e fluxos de detritos.

Nessas circunstâncias, durante a ocorrência desse evento no estado, o Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) realizou as seguintes investigações em campo: (i) levantamento da mancha de inundação gradual em Porto Alegre; e (ii) avaliação de riscos e desastres associados aos movimentos de massa em diversos municípios na região dos Vales. Além disso, o GPDEN vem oferecendo várias palestras, seminários e cursos de capacitação às comunidades locais e acadêmicas. Portanto, o objetivo do presente trabalho é apresentar algumas sugestões às comunidades (moradores, prefeituras, governo estadual e federal) sobre a gestão de risco e de desastres (GRD), com base nas experiências obtidas por meio dos trabalhos em campo durante a tragédia, e das divulgações dos resultados desses trabalhos para a comunidade em geral.

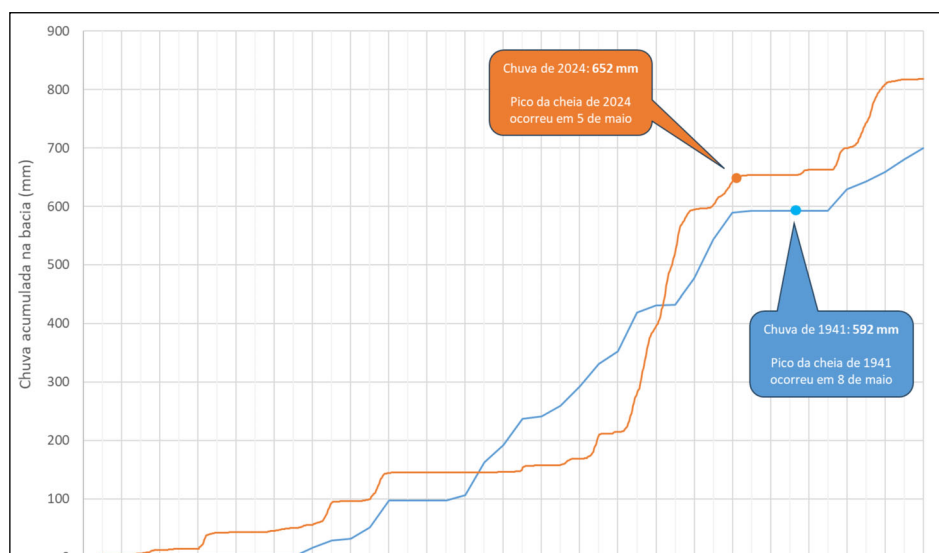
Aspectos hidrológicos gerais: Chuva-vazão

Collischonn *et al.* (2024) analisaram as distribuições espaciais e temporais da chuva em toda a bacia hidrográfica do Guaíba, tanto para a tragédia de 1941 quanto para a de 2024. A Figura 1 demonstra a distribuição espacial da chuva acumulada no período de 01/04 até 05/05/2024, onde cada ponto na figura corresponde a um pluviômetro utilizado. Os resultados demonstram que as regiões de cabeceira dos vales (porção norte da bacia) registraram os maiores valores de chuva acumulada. Os autores calcularam também a chuva acumulada média na bacia hidrográfica do Guaíba (Figura 2), e concluíram que a chuva total em 2024 foi mais volumosa e intensa do que a de 1941, o que causou um nível máximo mais elevado da inundação.



Fonte: Collischonn *et al.* (2024)

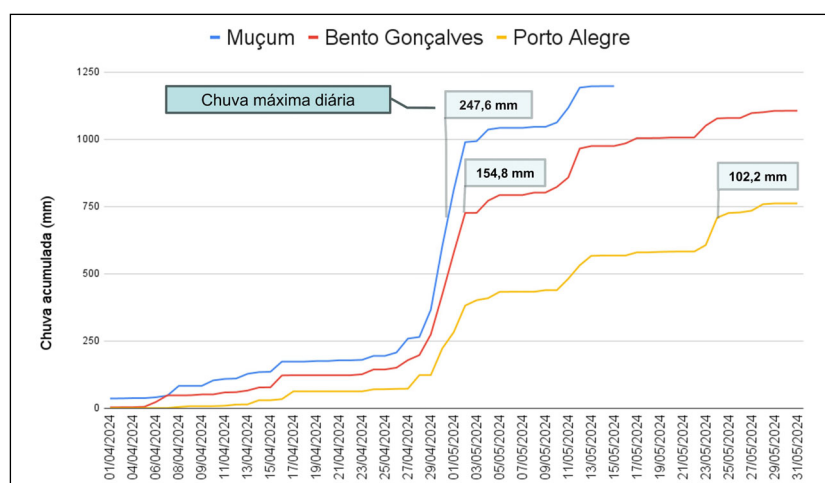
Figura 1. Distribuição espacial da chuva acumulada na bacia hidrográfica do Guaíba no período 01/04 – 05/05/2024.



Fonte: Collischonn *et al.* (2024)

Figura 2. Chuva acumulada média na bacia hidrográfica do Guaíba no período de 01/04 – 15/05 para eventos de 1941 (em azul) e 2024 (em laranja). Nota-se que as datas de ocorrência do nível máximo em Porto Alegre e os respectivos valores de chuva acumulada estão destacados.

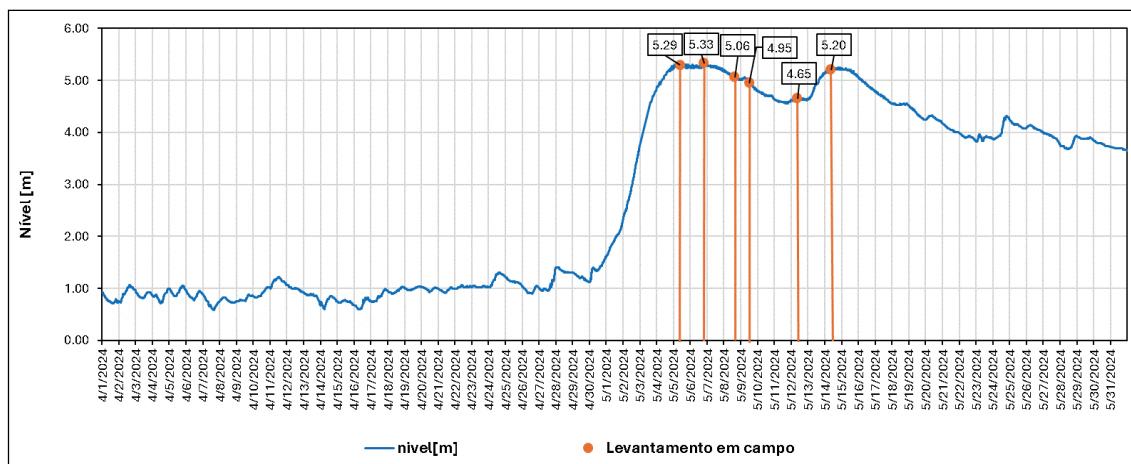
As Figuras 1 e 2 demonstram que os regimes espaciais e temporais da chuva acumulada possuem uma forte heterogeneidade. Como exemplo, para os municípios de Muçum, Bento Gonçalves e Porto Alegre, as chuvas diárias máximas registradas nesses foram de 247,6 mm em 30/04/2024, 154,8 mm em 01/05/2024, e 102,2 mm em 24/05/2024, respectivamente, com o acumulado de chuva atingindo os valores máximos em diferentes momentos (Figura 3). Segundo Kobiyama *et al.* (2023), o recorde nacional de intensidade de chuva em 24 horas é de 682 mm, registrado em Bertioga/SP, entre 05 e 06/03/2023. A partir disso, pode-se dizer que, a tragédia de 2024 no RS, foi desencadeada pela ocorrência de chuvas intensas, mas com o fator preponderante de uma duração prolongada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3. Chuva acumulada para os municípios de Muçum, Bento Gonçalves e Porto Alegre no período de abril e maio de 2024.

Devido ao elevado volume de chuvas em toda a bacia, o nível de água do Guaíba atingiu um recorde histórico. A Figura 4 apresenta os níveis do Guaíba registrados nos meses de abril e maio de 2024, obtidos através do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), pertencente à Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e coordenada pela Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA). A medição do nível do Guaíba foi realizada pela estação Cais Mauá C6 (87450004) até o dia 02/05/2024 e, a partir de 03/05/2024, passou a ser realizada pela estação Usina do Gasômetro (87444000).



Fonte: Adaptado de Zambrano *et al.* (2024)

Figura 4. Níveis do Guaíba no mês de abril e maio de 2024 em Porto Alegre.

Embora ainda não exista uma curva-chave para a região de Porto Alegre, foi realizada uma expedição para medir a vazão durante o período de inundação. Silva *et al.* (2024) relataram que a vazão corrigida, a velocidade máxima da corrente e o nível de água no Cais Mauá, em Porto Alegre, no dia 05/05/2024 às 17h45min, foram 35.736 m³/s, 4,2 m/s, e 5,12 m, respectivamente. Nota-se que o pico da cheia ocorreu no mesmo dia, às 00h40min.

Além de uma maior magnitude do perigo natural ocasionado pela chuva mais volumosa, a vulnerabilidade da sociedade gaúcha, principalmente aquela exposta ao fenômeno (ocupações em áreas suscetíveis a inundação e movimentos de massa), é atualmente maior do que em 1941. Essas condições favoreceram a ocorrência da tragédia de 2024, que pode ser considerada a maior tragédia do RS.

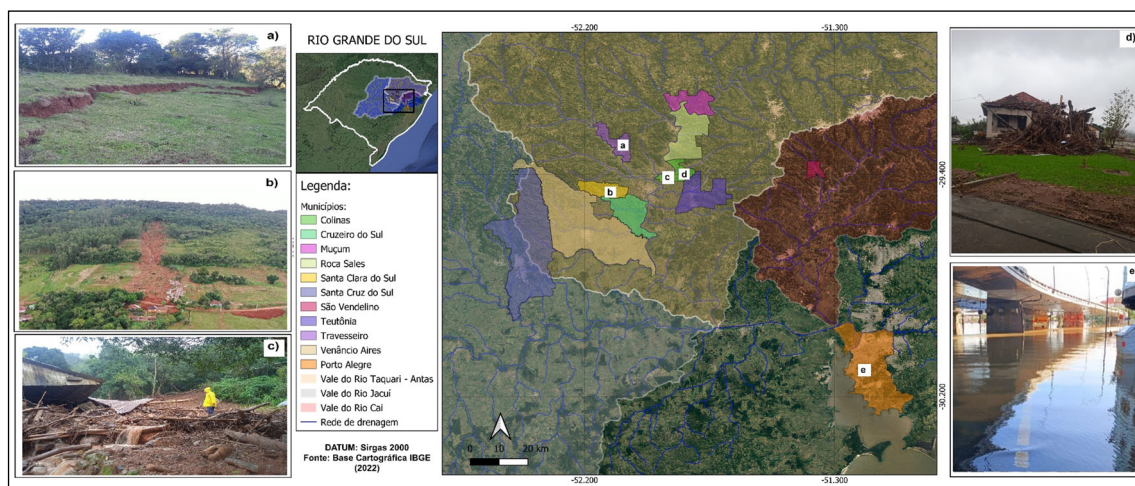
Atividades – do GPDEN – com as comunidades

Trabalho em campo

Para um correto entendimento do fenômeno natural e das vulnerabilidades às quais a sociedade está sujeita, o trabalho em campo se faz necessário como ferramenta primordial. Por isso, a equipe técnica do GPDEN realizou incursões a campo durante

o evento de 2024 com dois vieses: (i) realizar o levantamento da mancha de inundação gradual no município de Porto Alegre (realizado nos dias 05, 06, 08, 09, 12 e 14 de maio de 2024); e (ii) avaliação de riscos associados aos movimentos de massa em diversos municípios na região dos Vales (durante 27 dias entre 08/05 e 15/06/2024).

O levantamento e registro da extensão da mancha de inundação foi realizado utilizando um equipamento com Sistema de Posicionamento Global (GPS) e se deslocando de bicicleta pela Zona Norte, Centro e Zona Sul de Porto Alegre. Ocasionalmente, conversas foram realizadas com moradores dos locais afetados. Além disso, a equipe do GPDEN avaliou a ocorrência de movimentos de massa em diversos municípios dos Vales: Santa Cruz do Sul, Santa Clara do Sul, Cruzeiro do Sul, Venâncio Aires, Teutônia, Travesseiro, Colinas, Roca Sales, Muçum e São Vendelino (Figura 5). A avaliação *in situ* consistiu em uma metodologia com a identificação em campo de características como: tipo de solo e rocha, relevo, avaliação da presença de água, caracterização de movimentos de massa e sua área de abrangência, formação de barragem natural (ou barragem de escorregamento), entre outras. Uma atenção especial foi dada para a verificação da formação de barragens naturais, pois o rompimento de tais barragens, têm o elevado potencial de causar desastres secundários, que podem ser ainda mais severos que o desastre primário (Zheng *et al.*, 2021; Zhong *et al.*, 2024). Aqui salienta-se que a avaliação *in situ* pode ser a única maneira de avaliar a necessidade de evacuação das residências próximas e a necessidade de monitorar os movimentos ocorridos/iniciados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5. Municípios avaliados e fenômenos observados: (a) escorregamento rotacional em Travesseiro; (b) escorregamento translacional em Santa Clara do Sul; (c) fluxo de detritos em Colinas; (d) enxurrada em Colinas; e (e) inundação gradual em Porto Alegre.

Divulgação de informações, capacitação e conscientização

Desde o mês de maio até o presente momento, o GPDEN vem realizando diversas atividades para divulgar à sociedade seus resultados e contribuições relacionados à

tragédia. No início da tragédia, na região dos Vales, faltavam especialistas qualificados que pudessem avaliar o grau de perigo associado a movimentos de massa, tais como escorregamentos e fluxos de detritos. Por isso, foi oferecido um curso teórico-prático de capacitação aos profissionais regionais e locais (geólogos, geógrafos, engenheiros e gestores), sobre o monitoramento de movimentos de massa em campo, visitando locais reais de ocorrência de movimento de massa.

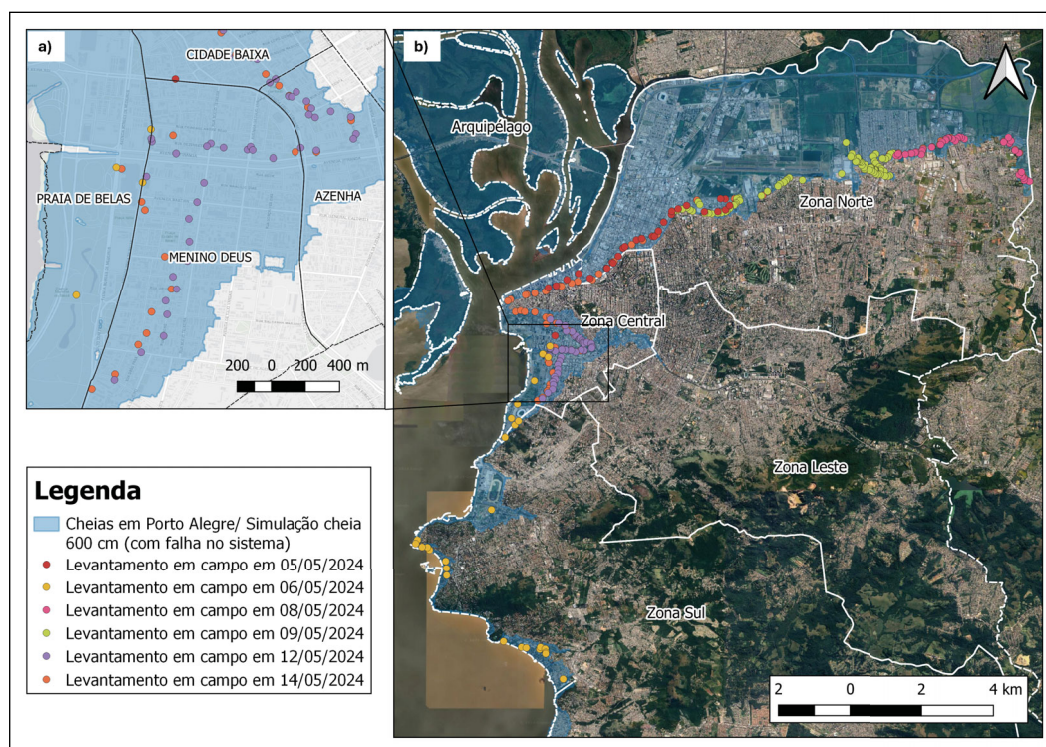
Quando solicitado, membros do GPDEN ofereceram esclarecimento em relação à tragédia em geral e/ou desastres relacionados à sedimentos e água, através de entrevistas e comunicações informais (Kobiyama, 2024), e oferecimento de seminários ou palestras sobre o tema (*e.g.*: palestras realizadas na Assembleia Legislativa do RS; palestra para os moradores do município de São Vendelino; palestra para a Corregedoria da Prefeitura de Porto Alegre; e palestra para o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá e Afluentes Catarinenses do Rio Mampituba (Comitê Araranguá, 2024; palestra para o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí; e palestra na Conferência Pan-Americana de Meteorologia – CPAM).

O GPDEN também lançou Notas Técnicas, relatando os resultados das etapas de campo, no site do IPH da UFRGS (<https://www.ufrgs.br/iph/noticias/>). Além disso, a fim de esclarecer as situações atuais na região dos Vales e discutir academicamente entre pesquisadores, o GPDEN organizou um seminário relacionado à tragédia (GPDEN, 2024).

Observações locais

Porto Alegre

O trabalho de campo foi realizado nas áreas inundadas na região urbana do município de Porto Alegre, mais especificamente nas Zonas Norte, Central e Sul. O mapeamento foi realizado identificando em campo, com auxílio de GPS, a coordenada dos pontos que representam o limite entre a região seca e inundada (ou alagada) no momento da observação. No total, foram obtidos 302 pontos em diferentes dias. A Figura 6 apresenta esses pontos coletados e a mancha de inundação gerada por simulação hidrodinâmica, disponibilizada por Possanti, Muller e Ruhoff (2024). Essa simulação desconsiderou as estruturas de proteção contra inundações (diques, casas de bombas e muros) de Porto Alegre.



Fonte: Adaptação de Zambrano *et al.* (2024)

Figura 6. Delimitação das áreas de inundação em diferentes dias durante o desastre em Porto Alegre.

Na comparação entre as áreas de inundação resultantes da modelagem hidrodinâmica e observações em campo durante o evento de inundação, as maiores diferenças foram identificadas na região central, principalmente nos bairros Cidade Baixa, Menino Deus e Azenha, destacados na Figura 6a. Essas diferenças foram atribuídas ao funcionamento do sistema de bombeamento (Casa de bombas #16, localizada nas proximidades do gasômetro), fazendo com que o resultado da modelagem (que não considera esse efeito) apresente uma diferença significativa se comparado com o fenômeno observado em campo. Esse sistema, no entanto, apresentou uma falha, que ocorreu poucas horas depois de concluído o levantamento no dia 06 de maio, resultando na inundação imediata desses bairros, um cenário que se aproximou mais da simulação da cheia.

O nível do Guaíba registrado no dia 05/05 foi de aproximadamente 5,29 m, similar ao nível de 5,33 m registrado no dia 06, no momento da falha do sistema de bombeamento. Mesmo com o nível do Guaíba já em 4,65 m registrado no dia 12 de maio, ainda era possível observar diversas áreas inundadas nestes 3 bairros. No dia 14 de maio a situação era diferente, apesar do aumento do nível para 5,20 m, muitas áreas anteriormente inundadas nestes bairros não apresentavam mais a presença de água. A diferença foi a reativação do sistema de bombeamento que operava normalmente no dia 14 de maio. Esse evento inesperado ressalta a importância do funcionamento correto dos sistemas de bombeamento no controle das inundações na cidade.

Além disso, foram realizadas outras observações em campo e entrevistas com moradores afetados para obter uma maior compreensão do impacto do desastre. Na Figura 7a, a equipe entrevista residentes na Zona Sul de Porto Alegre sobre a história

das inundações no local, incluindo a frequência e intensidade desses eventos. Na Figura 7b, moradores coletam água da inundação para utilizar nos banheiros dos abrigos, que enfrentavam escassez de água. Essa situação evidencia a estreita relação entre a gestão de desastres e a gestão dos recursos hídricos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 7. Conversas com moradores na Zona Sul de Porto Alegre.

Região dos Vales

As observações em campo permitiram compreender os tipos de fenômenos naturais (*natural hazards*) que causaram o desastre na região dos Vales. A região Metropolitana de Porto Alegre enfrentou inundações graduais (Figura 5e), enquanto na região dos Vales ocorreram inundações bruscas (enxurradas) (Figura 5d). Comparativamente, a dinâmica da inundação gradual é mais lenta, e tende a ocorrer nas regiões mais planas, como nos municípios de Porto Alegre, Pelotas e Rio Grande. Nesses fenômenos, a variável de maior interesse é a profundidade ou o nível de água. As enxurradas tendem a ocorrer em regiões mais declivosas, e sua dinâmica é bem mais rápida e violenta, o que faz necessário considerar, além da profundidade, a velocidade da corrente. A Figura 8 apresenta diversos locais onde houve destruição por enxurradas, demonstrando seu caráter extremamente destrutivo, o qual, normalmente, não está presente em inundações graduais.

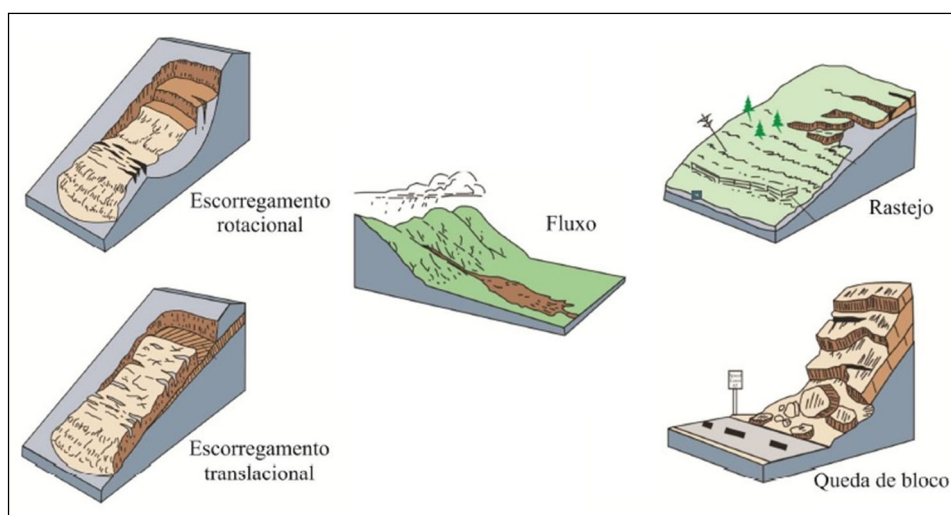


Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 8. Destruições associadas a enxurradas: (a) asfalto arrancado da estrada pela força da água em Colinas; (b) ponte parcialmente destruída em Roca Sales; (c) casa totalmente desestruturada pela enxurrada em Lajeado; e (d) casa totalmente desestruturada pela enxurrada em Colinas.

Durante o evento de 2024, diversos tipos de movimentos de massa ocorreram nas regiões declivosas (encostas e canais fluviais) da bacia do Guaíba. Segundo Selby (1993), os movimentos de massa são caracterizados pelo movimento, encosta abaixo, de material composto por solo e rocha, sob influência da aceleração gravitacional. Em geral tais movimentos podem ser classificados em cinco tipos: escorregamento translacional (raso), escorregamento rotacional (profundo), fluxo de detritos, rastejo (rastejamento) e queda de bloco (Figura 9). Cabe ressaltar que existem também movimentos de massa mistos, que são combinações dessas classificações.

Dentre os diversos tipos de movimento de massa, as observações feitas pela equipe em campo permitem afirmar que, na tragédia da região dos Vales, foram três tipos de movimentos que causaram os maiores prejuízos para as comunidades locais: escorregamento translacional (Figura 5b), escorregamento rotacional (Figura 5a) e fluxo de detritos (Figura 5c), sendo, inclusive, responsáveis por muitas vítimas fatais.

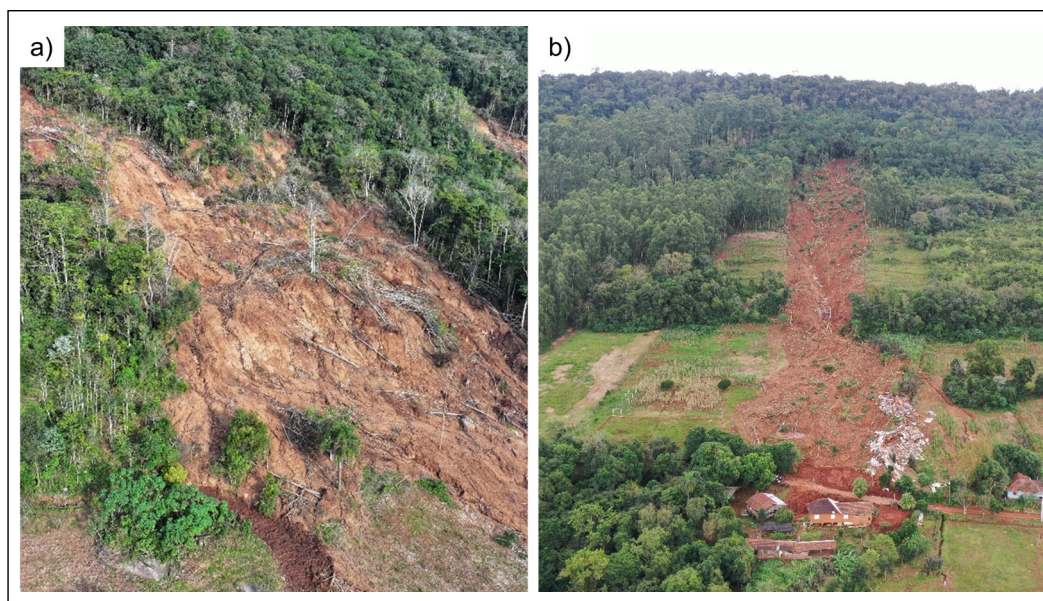


Fonte: Adaptado de USGS (2004).

Figura 9. Classificação dos movimentos de massa.

Os desastres associados aos movimentos de massa podem ser classificados como: desastres hidrológicos (Below; Wirtz; Guha-Sapir, 2009), desastres relacionados à água (Jimenez-Cisneros, 2015), desastres geológicos (Ministério da Integração Nacional, 2016), entre outros. Em termos de área de ocorrência, as características dos movimentos de massa são bem diferentes de enxurradas e inundações. Mesmo com diversas ocorrências espalhadas em uma ampla área durante a tragédia, os movimentos de massa são bastante pontuais ou locais. Além disso, esses fenômenos podem ser extremamente repentinos, atribuindo um caráter de difícil previsibilidade espacial e temporal. Isso dificulta que os setores municipais e estadual de Proteção e Defesa Civil busquem medidas preventivas.

Escorregamento translacional é um fenômeno no qual um volume de massa (solo, blocos de rocha e vegetação) localizado em encostas íngremes desaba devido à ação da gravidade, condicionado pelo acúmulo excessivo de água causado por chuvas volumosas. Esse processo é comum em locais como montanhas e vales, os quais possuem solos de baixa profundidade. Ocorrem de maneira repentina, podendo atingir grandes velocidades e, muitas vezes, levando apenas alguns segundos entre início e fim do movimento. Reduzindo, portanto, o tempo de reação da população (Figura 10).

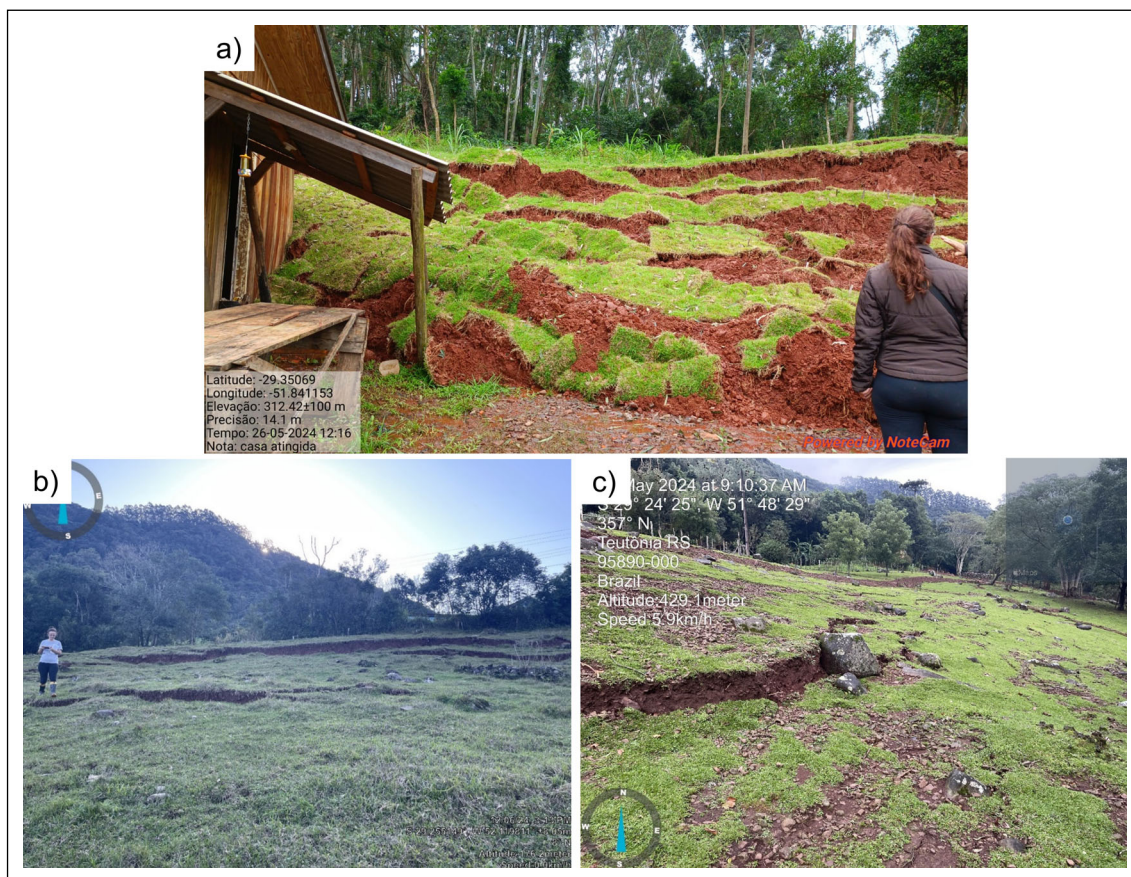


Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 10. Exemplos de escorregamentos translacionais: (a) São Vendelino; e (b) Santa Clara do Sul.

Já um escorregamento rotacional é um fenômeno que pode ocorrer em amplas áreas, geralmente em encostas com relevo relativamente suave (Figura 11), que apresentam uma camada de solo mais espessa. Esses movimentos ocorrem pela ação da gravidade e são fortemente influenciados pelo fluxo das águas subterrâneas, acentuado durante períodos de chuvas intensas. Os escorregamentos rotacionais tendem a formar blocos de massa, limitados na base por superfícies côncavas, que se deslocam encosta abaixo em movimento de rotação, onde a porção superior abate, enquanto a porção inferior pode até se elevar (ver Figura 9). As árvores e estruturas, como residências, que se encontram na zona de movimentação dessas ocorrências, se deslocam lentamente pela encosta junto com o volume de massa. Quando essas residências estão localizadas sobre uma zona de ruptura (rachaduras), a estrutura da casa pode ser fortemente comprometida. Escorregamentos rotacionais ocorrem em áreas com diferenças de permeabilidade no solo, que podem ser geradas pela presença de camadas ou concentrações de argila, ou no contato entre solo e rocha, formando superfícies que dificultam a passagem de água e acabam formando canais de fluxo preferencial. Alguns escorregamentos rotacionais movem-se lentamente, cerca de alguns milímetros por dia. Enquanto outros, ocorrem repentinamente, devido a eventos de chuva intensa e/ou contínua, formando degraus de abatimento que podem chegar a mais de 1 metro de deslocamento vertical.

Em geral, é dito que escorregamentos rotacionais e translacionais possuem caráter profundo e raso, respectivamente. Entretanto, há exceções a essa regra, pois escorregamentos rotacionais podem ocorrer em profundidades relativamente rasas, a depender da condição geomorfológica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11. Exemplos de escorregamentos rotacionais. (a) zona de acomodação de um movimento de massa em Colinas; (b) rachaduras na zona de ruptura em Travesseiro; e (c) zona de ruptura em Teutônia.

Um fluxo de detritos é um movimento de massa composto por uma mistura de sedimentos e água, que flui continuamente por ação da gravidade, tendo grande mobilidade e podendo alcançar longas distâncias (Takahashi, 2007). Quando ocorrem chuvas intensas e/ou prolongadas, os materiais disponíveis na encosta (mobilizados devido aos escorregamentos e/ou depositados no leito do rio), se misturam com a água do escoamento superficial, formando uma massa que é transportada à jusante (Figura 12).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 12. Exemplo de fluxo de detritos em Colinas.

Quando um escorregamento ocorre e atinge um canal fluvial, e há material suficiente para impedir o fluxo de água no rio, pode ocorrer a formação de uma barragem natural. Nessa situação, a água passa a acumular atrás da barragem, levando ocasionalmente ao seu rompimento, gerando assim um fluxo de detritos. Esse fluxo pode atingir altas velocidades, de 20 a 40 km/h, e serem extremamente destrutivos, causando sérios danos às estruturas que eventualmente estiverem no trajeto do fluxo, como pontes, casas e estradas. Os desastres associados a este fenômeno ocorrem geralmente em ambientes montanhosos e podem ser considerados um dos mais preocupantes no Brasil devido ao seu alto poder destrutivo (Kobiyama *et al.*, 2018; Kobiyama; Paul, 2022).

Durante as observações em campo, constatou-se que a escassez de pessoas capacitadas para avaliar os movimentos de massa em cada município dos Vales representou uma limitação significativa na agilidade desse trabalho crucial. Diversos pesquisadores, nacionais e internacionais, fizeram avaliações de movimento de massa por meio do uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Por exemplo, Paula *et al.* (2024) apresentaram uma Nota Técnica do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, na qual os movimentos de massa foram identificados e mapeados por interpretação visual de imagens de satélite. Embora esses resultados sejam de grande relevância, muitos escorregamentos rotacionais, que apresentam pouco rejeito, não são identificáveis com essas técnicas. Ou ainda, muitos escorregamentos com grande extensão ocorreram dentro de florestas fechadas, sendo possível identificá-los somente através de observação *in situ*.

Além disso, os trabalhos de campo possibilitaram o diálogo com moradores locais, que foram, muitas vezes, testemunhas da ocorrência de movimentos de massa. A partir de depoimentos de moradores, por vezes vítimas do desastre, foi possível compilar sinais

que estes observaram momentos antes do acontecimento (ou do impacto) dos movimentos de massa. Os sinais relatados por esses moradores foram:

- Cachorros começaram a latir de maneira estranha;
- Comportamento dos cachorros era diferente do normal, muito inquietos;
- Macacos (bugios) uivaram em horários não habituais;
- Ouviu-se um som estrondoso, como se pedras batessem umas nas outras;
- Cheiro estranho como barro podre, lama ou mato cortado (vegetação);
- Barulho alto de madeira quebrando;
- A área começou a apresentar pequenas rachaduras que foram aumentando.

A área que sempre estava seca começou a ficar muito encharcada.

Pelas explicações dos moradores e pela avaliação dos locais de ocorrência, os seis primeiros itens desses depoimentos estão associados aos escorregamentos translacionais de grande porte e/ou fluxos de detritos. Já os últimos dois são mais comuns no caso da ocorrência de escorregamentos rotacionais.

Sugestões para gestão de risco e desastre

Com base nas experiências locais (observações *in situ* e conversas com moradores), apresentamos aqui algumas sugestões às comunidades locais referente a gestão de risco e desastre. Embora essas experiências tenham sido adquiridas em uma condição específica, isto é, durante a tragédia de 2024 no estado de Rio Grande do Sul, as seguintes sugestões podem ser válidas em quaisquer comunidades no Brasil, desde uma unidade de bairro, prefeitura municipal, estado, e até mesmo para a união.

Criação de um Modelo Digital de Terreno com a melhor resolução

Goerl, Michel e Kobiyama (2017) e Franck, Gusmão e Kobiyama (2021) analisaram o efeito da resolução do Modelo Digital de Terreno (MDT) sobre o desempenho no mapeamento de inundação e de movimentos de massa. Ambos os trabalhos demonstraram a influência de uma boa qualidade do MDT no desempenho do mapeamento, afirmando que o mapeamento de áreas susceptíveis a inundações e a movimentos de massa necessita de MDTs com resolução espacial adequada. Enquanto o estado catarinense possui um MDT de 1 m de resolução espacial, o estado gaúcho não possui um MDT próprio, contando apenas com MDTs globais públicos. Atualmente, a melhor resolução disponível em um MDT público é de 12,5 m (ALOS Palsar, reamostrado da missão SRTM), o que dificulta a execução de estudos para contribuir ao mapeamento de áreas susceptíveis a inundações, enxurradas e movimentos de massa no RS. Então, para uma gestão de risco mais eficiente, o território brasileiro deveria, primeiramente, adquirir um MDT com qualidade e resolução adequada, à exemplo do estado de Santa Catarina.

Além disso, analisando o desempenho do mapeamento computacional de inundação em São Vendelino/RS, Zambrano *et al.* (2020) concluíram que a batimetria no leito do rio a fim de obter um mapa confiável de inundação é de extrema importância. Assim, os levantamentos topobatimétricos detalhados e seus produtos (mapas e MDTs) são fundamentais para a gestão territorial e consequentemente para a GRD.

Mapeamento participativo de áreas susceptíveis à inundação e à movimentos de massa

Com dados de campo como a identificação da mancha de inundação, junto com modelos computacionais tais como HEC-RAS (USACE-HEC, 2016) e HAND (Rennó *et al.*, 2008), mapas mais precisos de áreas susceptíveis à inundação podem ser elaborados (Vasconcellos *et al.*, 2022). Da mesma forma, as áreas susceptíveis aos movimentos de massa podem ser mapeadas (Franck; Kobiyama, 2024; Gomes *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2016) por meio da combinação da identificação de cicatrizes de eventos anteriores com a modelagem computacional. Embora frequentemente ocorram erros de identificação e mapeamento de áreas susceptíveis pelo uso de modelos computacionais, essa ferramenta possui uma rapidez significativa na produção de mapas de perigo e uma considerável facilidade de execução.

Então, para melhorar a eficiência no uso dessa ferramenta, é necessário adicionar procedimentos para aprimorar o mapeamento, melhorando assim a qualidade do mapa. Nesse caso, uma alternativa é o mapeamento participativo. Buscando melhorar o mapeamento de inundação da área pertencente à comunidade Quilombola São Roque, situado na divisa entre os estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Gonzáles-Ávila *et al.* (2024) relataram que a participação dos moradores locais contribuiu significativamente na melhoria da qualidade do mapa de inundação. A melhoria do mapeamento através da participação dos moradores locais foi relatada também por Ferreira, Albino e Freitas (2017) que analisaram a região dos Baús no município de Ilhota/SC e concluíram que o mapeamento participativo em um produto mais completo e abrangente do que o mapeamento elaborado tecnicamente pela CPRM (antiga sigla do Serviço Geológico do Brasil).

Silva e Santos (2022) comentaram que, nos mapeamentos participativos, é importante unir o conhecimento técnico e a pesquisa científica tradicional com a percepção e o conhecimento das populações locais, que convivem cotidianamente com os riscos ambientais. Realizando uma revisão bibliográfica sobre conceitos, métodos de mapeamento participativo e suas aplicações no Brasil, Araújo, Anjos e Rocha-Filho (2017) concluíram que os resultados (mapas) devem ser apresentados às esferas públicas (federal, estadual e municipal) para discutir os problemas detectados pelas comunidades mapeadas, de maneira a atender os desejos de ambas as partes. Além disso, os autores mencionaram ainda a necessidade de capacitar os moradores na área de cartografia.

Segundo a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012), todos os municípios e estados precisam mapear as áreas de risco. A fim de obter uma melhor

qualidade para os mapas de risco, os municípios necessitam gerar os mapas de perigo, vulnerabilidade e risco, de maneira participativa com a comunidade.

Gestão alternativa: Mais medidas não estruturais e menos medidas estruturais

O conceito de “Paradoxo do Desenvolvimento Seguro” alerta: Paradoxalmente, a GRD através da adoção de medidas estruturais pode levar a um aumento da exposição e vulnerabilidade da população (Fusinato *et al.*, 2024). Esse conceito traz a ideia de que a adoção de medidas estruturais em detrimento de medidas não-estruturais pode amplificar o impacto negativo de tragédias em uma sociedade. Um exemplo hipotético disso seria o efeito da construção de diques para contenção de inundações em determinada área. Com a existências do dique, uma medida estrutural, a população poderá ocupar áreas “protegidas” nas imediações dos diques. No entanto, se ocorrer um rompimento desse dique, o desastre será maior, pois a água que antes subiria lentamente agora poderá atingir essa região como uma enxurrada. Ou ainda, se não houvesse os diques, aquela população não iria ocupar aquela área. Tal cenário aconteceu em Canoas/RS, município com o maior número de óbitos na tragédia de 2024 (Becker, 2024). Então, podemos afirmar que, se os diques não tivessem sido construídos, possivelmente teriam ocorrido menos mortes humanas, embora os danos econômicos, associados a uma possível inundação mais duradoura, seriam maiores. Esse paradoxo pode ser evitado se os gestores e a população estiverem bem-informados. Nesse momento, há uma tendência entre os moradores gaúchos de procurar construções de diques e barragens. Portanto, é de extrema relevância que as pessoas conheçam esse paradoxo.

Isso também se aplica às comunidades que desejam, sem estudos científicos, a realização de dragagens ou desassoreamentos nas redes fluviais. A dinâmica sedimentar é extremamente complexa dentro de uma bacia hidrográfica, independentemente de sua extensão territorial. Como uma dragagem pode rebaixar a seção transversal de um canal, a população acredita que essa ação implicitamente reduz a possibilidade de enchente e inundação. Entretanto, ao observar essa ação no perfil longitudinal do canal, o rebaixamento local ao longo desse perfil certamente cria um gradiente maior (mais declividade) e consequentemente aumenta a velocidade da corrente, ou seja, aumenta seu poder destrutivo, especialmente para as comunidades à jusante. Além disso, a dragagem reduz a rugosidade do leito natural do canal, o que, consequentemente, ajuda a aumentar ainda mais a velocidade da corrente.

A população deve se lembrar do Conceito de Continuidade Fluvial (*River Continuum Concept*) proposto por Vannote *et al.* (1980), que pensa um curso de água como um contínuo, onde as condições – físicas e biológicas – em uma seção qualquer do sistema fluvial são geradas por tudo que ocorre a montante daquela seção, logo há presença permanente do efeito à jusante em bacias hidrográficas. Lembrar também do conceito

de hidrossolidariedade, proposta por Falkenmark e Folke (2002), tomando consciência que ações em determinada porção do rio tem consequência nas comunidades à jusante. Diversos estudos têm relatado efeitos negativos graves da dragagem e desassoreamento sob pontos de vista socioeconômicos e ambientais, por exemplo, Castro e Almeida (2012) e Smith, Silva e Biagioni (2019). Portanto, a conscientização da população sobre as ações e suas consequências é essencial na GRD.

Concurso público para estruturar a CEPDEC e COMPDEC

Toda a sociedade brasileira, da esfera municipal a federal, necessita que os funcionários públicos do setor de Proteção e Defesa Civil possuam estabilidade profissional. Em muitos municípios, esses setores não funcionam devido à falta de experiência e preparação dos funcionários que são trocados constantemente, acompanhando a troca da gestão pública. Para que haja um acúmulo de experiências e de conhecimentos por parte dos funcionários, cada governo, estadual e municipal, deve fornecer continuidade e estabilidade para esses funcionários. Uma maneira de se proporcionar isso é transformar os cargos da Defesa Civil em cargos de carreira, com seleção, a partir de concursos públicos, de profissionais qualificados para exercerem determinada função. Além disso, o estado e a prefeitura deveriam criar Secretarias de Proteção e Defesa Civil. Com essa criação, seriam efetivamente estruturadas e preparadas a Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil (CEPDEC) e as Coordenadorias Municipais de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC).

Por meio de revisão sistêmica de literatura publicada no período entre 2007-2017, Santos e Ribeiro (2020) caracterizaram a situação social real no Brasil, isto é, a desigualdade socioeconômica, o déficit do planejamento territorial, o despreparo e a falta de vontade das autoridades públicas, resultam nos problemas vivenciados pela população que vive em área de vulnerabilidade socioambiental. Além disso, entre esses três níveis governamentais, o município é o principal responsável pela resolução dos problemas relacionados às questões socioambientais. Entretanto, na maioria das vezes, são os municípios que ignoram os alertas da iminência de tragédias.

Após a tragédia do Vale do Itajaí, em 2008, Negredo (2009) relatou que a maioria dos funcionários da Defesa Civil do estado de Santa Catarina que atuaram na tragédia, possuíam cargos comissionados, ou seja, não eram concursados para a Defesa Civil. Portanto, a cada troca de governo, quase a totalidade desses funcionários eram substituídos. A falta de um quadro permanente devido a essa substituição constante impede a continuidade dos trabalhos e impossibilita o avanço institucional do setor. O mesmo autor comentou que, essa mesma situação pode ser encontrada em diversos municípios catarinenses. Após o desastre de 2024 no RS, observando o país em geral, essa situação pode ser generalizada nas três esferas (federal, estadual e municipal).

Segundo Alvalá *et al.* (2024) que investigaram a tragédia de 2023 do RS, muitas prefeituras municipais de pequeno porte enfrentam a falta de aparato técnico e legal, somada à escassez de recursos financeiros essenciais para dar suporte ao desenvolvimento

de instrumentos, leis e projetos específicos destinados a auxiliar a administração pública na GRD. Justamente por isso, os governos estaduais e federal devem buscar auxiliar mais as prefeituras com problemas financeiros.

Criação e fortalecimento do NUPDEC

Em cada comunidade situada em área de risco, a COMPDEC deve criar um Núcleo Comunitário de Proteção e Defesa Civil (NUPDEC), que é uma entidade integrante do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC). Um NUPDEC é constituído por cidadãos que realizam trabalho voluntário e solidário, executando ações preventivas e ações imediatas nas situações emergenciais. Tavanti e Spink (2014) descreveram que os NUPDECs são considerados um dos mais importantes recursos voltados ao desenvolvimento de ações de prevenção, mitigação e preparação nos territórios vulneráveis e/ou afetados pelos desastres.

Através da participação nas ações de proteção e defesa, a comunidade local poderá (i) desenvolver consciência do risco, (ii) conectar-se ao SINPDEC, e (iii) participar do planejamento e execução das atividades de proteção e defesa civil (Lugon; Palassi, 2012). Assim sendo, tal participação voluntária é a essência no Sistema de Defesa Civil, pois a própria comunidade reconhece seus problemas e pensa em soluções que lhe cabem. O objetivo da COMPDEC é articular, coordenar e gerenciar as ações de Proteção e Defesa Civil no município. A efetivação das ações depende fortemente da participação da comunidade. Justamente por isso, é necessário criar os NUPDECs no município, pois para melhorar a efetividade das ações, é preciso ter pessoas que conhecem a realidade local.

Em outras palavras, o conhecimento local é fundamental para a GRD. Portanto, pode-se dizer que a qualidade das ações do NUPDEC certamente define a magnitude de um desastre.

Convênio com instituições de pesquisa e sua descentralização

A partir de iniciativa entre gestores e pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) foi criado o Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), que, atualmente, é replicado em alguns estados brasileiros. No caso do Rio Grande do Sul, o CEPED-UFRGS, inativo há anos, está sendo reativado em 2024. Dada a extensão territorial do estado e considerando a diversidade dos desastres, o governo gaúcho deverá criar mais CEPEDs regionais, descentralizando as atividades de pesquisas científicas. Por exemplo, no Vale do Taquari, foi a Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES) que inicialmente conduziu as ações técnico-científicas em relação aos movimentos de massa. Isso justifica uma possibilidade e necessidade de criar um CEPED para o Vale do Taquari, onde existe uma grande recorrência de desastres.

A iniciativa da UNESCO (2022) apresentou o tema da fase IX do Programa Intergovernamental de Hidrologia (IHP-IX) no período de 2022-2029, intitulado: “Ciência para um mundo com segurança hídrica em um ambiente em mudança”. Isso implica que todas as decisões devem ser tomadas com base na ciência. A participação da comunidade científica na GRD é fundamental. Assim sendo, cada governo estadual deve aproveitar as comunidades científicas, ou seja, universidades e/ou institutos que se situam próximos às áreas susceptíveis a ocorrência de desastres. Aqui vale ressaltar que, segundo Silva e Santos (2022), o papel das universidades não é somente produzir e manter conhecimentos científicos, mas também conectar a comunidade científica e a sociedade civil.

Reativação dos Comitês de Bacias Hidrográficas

Durante a fase de resposta à tragédia no RS, praticamente não foi observada a ação dos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) no contexto da GRD. A bacia hidrográfica é a unidade ideal para gestão integrada de recursos hídricos, desastres naturais, meio ambiente, entre outros (Kobiyama *et al.*, 2023). O governo gaúcho definiu cerca de 25 bacias hidrográficas para o estado e implementou seus comitês, como por exemplo o Comitê do Taquari-Antas e o Comitê de Caí. Embora cada comitê deva atuar na GRD de forma mais efetiva, a falta de atuação foi notada durante a tragédia. Se os Comitês tivessem atuado eficientemente na GRD, a magnitude da tragédia do RS poderia ser bem menor. Todos os Comitês existentes, tanto no estado do RS quanto no Brasil inteiro, devem estar ativos e em pleno funcionamento durante todo o tempo. Durante a ocorrência de um desastre, não há tempo hábil para coordenar ações se essas já não estiverem planejadas.

Relatando danos ambientais e agrícolas devido à tragédia de 2024 do RS, Melgarejo (2024) enfatizou o envolvimento de CBHs para a recuperação ambiental do RS, e sugeriu a retomada do “Programa de Microbacias Hidrográficas”. Para facilitar essa reativação, o estabelecimento do Programa Nacional de Bacias Escolas (Kobiyama *et al.*, 2024) é fortemente recomendado. Nesse sentido, esse programa também é de extrema relevância para as comunidades locais. Aqui a bacia escola pode ser definida como uma bacia hidrográfica onde ocorre monitoramento e/ou diagnóstico em campo dos processos e comportamento hidrológico da bacia, sendo utilizada para pesquisas científicas e atividades educativas que promovem o aprendizado de ciências, educação ambiental e desenvolvimento intelectual para todos os cidadãos.

A tragédia de 2024 no RS claramente demonstrou uma necessidade urgente de aumentar a densidade do monitoramento hidrológico de chuva e de vazão no estado do RS. Além disso, é preciso conscientizar a população em termos de processos hidrológicos, a fim de aumentar sua resiliência. Portanto, pode-se dizer que as bacias escolas podem ser uma ferramenta bastante útil nesse sentido.

Educação na gestão de risco de desastres

UNESCO-UNICEF (2011) enfatizaram que a educação é um tópico central para construir cidades resilientes contra os perigos naturais. Kobiyama *et al.* (2023) afirmaram que praticar a “educação para GRD” com base na participação dos moradores locais, torna-se importante em nível de bacias hidrográficas. No ensino formal (educação nas escolas), o tema de GRD deveria ser incluído nas aulas de geografia para capacitar os alunos e, conseqüentemente suas famílias, a reconhecerem esses perigos. Assim, a temática de GRD deve ser incorporada no currículo do ensino fundamental e médio, especialmente, na disciplina de geografia. Por outro lado, no caso do ensino informal, o uso da bacia escola pode ser prático e eficiente para educar a população geral, por meio do entendimento dos aspectos geográficos e integração com a comunidade local.

Nos locais de ocorrência de movimento de massa, ou seja, regiões montanhosas, os moradores precisam saber identificar os sinais precursoros, correspondentes a diferentes tipos de movimentos. Aqui, apresenta-se separadamente, alguns sinais por tipo:

(A) Escorregamentos translacionais:

- A água da nascente aumenta repentinamente seu nível ficando turva, ou para abruptamente;
- Rachaduras aparecem em um trecho íngreme da encosta;
- Pequenos pedaços de cascalho começam a cair pela encosta;
- Árvores entortam, quebram ou caem, produzindo sons estrondosos de madeira rachando;
- Sons estranhos e estrondos podem ser ouvidos vindo da encosta ou ecoando pelos vales;
- Há um cheiro estranho (terra, cheiro de queimado, cheiro azedo, cheiro de madeira, barro podre, cheiro de matéria orgânica, etc.).

(B) Escorregamentos rotacionais:

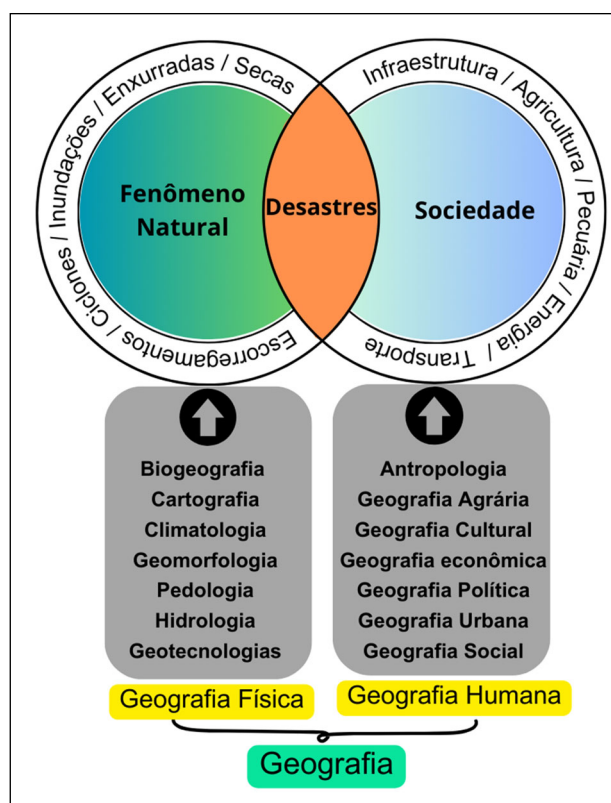
- Rachaduras (rupturas) e degraus (rejeitos) se formam nas encostas, ou nos patamares planares, ou nas estradas e taludes (principalmente em taludes com cortes irregulares ou muito inclinados);
- A alvenaria começa a ceder ou aparecem fissuras nos muros;
- As aberturas da casa como portas, janelas, e portas de correr, ficam soltas, ou repentinamente começam a raspar no chão, dificultando a sua abertura e fechamento;
- O chão vibra;
- A água brota da encosta ou do patamar através de vertentes, ou áreas secas tornam-se encharcadas;
- Parece que o morro ou montanha inteiro(a) está ‘rugindo’ (estrondos da montanha);
- Ouve-se um som estrondoso, como pedras rachando ou batendo umas nas outras;
- A água do rio ou dos poços ficam repentinamente turvas;
- Os níveis de água em poços, açudes e lagoas mudam rapidamente;
- As árvores, postes e casas se inclinam, caem, ou começam a se afastar;

(C) Fluxos de detritos:

- Como resultado de um escorregamento ou fluxo de detritos que ocorreu rio acima, há estrondos nas montanhas (sons de rochas colidindo, árvores quebrando e encostas desabando);
- A água do canal (arroio, córrego etc.) torna-se repentinamente turva, devido ao aporte de material (solo e rocha) para o canal;
- Mesmo que continue a chover, o nível da água no canal está baixando repentinamente (isso pode indicar a ocorrência da formação de uma barragem natural, bloqueando temporariamente o fluxo do canal);
- Há um cheiro estranho (cheiro de lama, cheiro de queimado, cheiro azedo, cheiro de madeira, etc.);
- Um escorregamento que aconteceu em um determinado local formou uma barragem em uma vertente e uma espécie de lago começa a se formar e acumular muita água.

Essas informações são de extrema importância para que cada cidadão possa se proteger contra diversos tipos de movimentos de massa, reduzindo assim sua vulnerabilidade ao fenômeno. O local onde cada cidadão poderá adquirir tais informações é, certamente, nas escolas (ou ainda em bacias escolas), através do ensino da geografia.

A Figura 13 demonstra, esquematicamente, como a geografia e suas subáreas podem contribuir para a GRD através do entendimento de diferentes aspectos, físicos (fenômeno natural) e humanos (sociedade), onde o desastre reside na interface entre esses aspectos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 13. Abordagem da geografia sobre a ocorrência dos desastres.

A ideia apresentada na Figura 13 claramente implica que, se cada cidadão tiver boa compreensão da geografia, todas as sugestões acima mencionadas, poderão ser atendidas de forma mais eficiente. Por exemplo, segundo Quintanilha e Deus (2022), no mapeamento participativo, os participantes do processo conduzem, de maneira conjunta, as escolhas e construções inerentes à produção cartográfica. Essa condução terá um melhor desenvolvimento caso os participantes tenham bons conhecimentos geográficos.

Conclusões

O presente estudo apresentou o que o GPDEN vem fazendo desde o início da tragédia de 2024 no RS, por meio de observações *in situ* e de comunicações presenciais e remotas com moradores locais. Quanto mais realizam-se trabalhos em campo e comunicações presenciais, mais se confirma a importância e necessidade das observações *in situ* e conversas diretas para troca de informações com moradores locais.

Na comunicação geral (TV, jornal, rádio, artigo, Nota Técnica, entre outros), os termos ‘enchente’ e ‘inundação’ são frequentemente encontrados para explicar a tragédia de 2024 do RS, tanto em nível nacional quanto internacional (Borde; Camelo; Pilecco, 2024; Clarke *et al.*, 2024; Davis, 2024; G1 RS, 2024; Martins, 2024; Matins-Filho *et al.*, 2024; Pillar; Overbeck, 2024; Suzin, 2024;). É evidente que o problema das inundações/enchentes foi grave. Entretanto, a equipe do GPDEN, a qual atuou nas áreas de ocorrências de inundação, movimento de massa e enxurrada, afirma que o ponto mais crítico da tragédia de 2024 no RS, foram os movimentos de massa e as enxurradas na região dos Vales. As sugestões acima mencionadas devem ser consideradas, especialmente para preparar a sociedade brasileira contra os movimentos de massa e as enxurradas, os quais são cada vez mais frequentes em ambientes montanhosos no Brasil.

Embora todas as medidas estruturais e não estruturais na GRD sejam importantes, as ações da sociedade devem colocar ênfase na área da educação devido à atual situação socioeconômica no país. Aqui, salienta-se que os resultados mais eficazes serão produzidos se essas atividades forem realizadas a nível local, onde os moradores locais participam, se unam com o espírito voluntário e solidário, e se preparem para os próximos desastres. As palavras-chave na GRD no presente momento devem ser educação geográfica local e criação de NUPDEC.

Referências

- ALVALÁ, R. C. S.; RIBEIRO, D. F.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; GONÇALVES, D. A.; SILVA, L. A.; PINEDA, L. A. C.; SAITO, S. M. Analysis of the hydrological disaster occurred in the state of Rio Grande do Sul, Brazil in September 2023: Vulnerabilities and risk management capabilities. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v.110, 104645, 2024.
- ARAÚJO, F. E.; ANJOS, R. S.; ROCHA-FILHO, G. B. Mapeamento participativo: Conceitos, métodos e aplicações. **Boletim de Geografia**, v.35, p.128-140, 2017.

- BECKER, R. **Canoas: Vistoria nos diques indica onde houveram os ‘rasgos’ na contenção; a dinâmica da tragédia dá um passo à frente.** In: Seguinte, 13 mai. 2024. Disponível em: <<https://seguinte.inf.br/canoas-vistoria-nos-diques-indica-onde-houveram-os-rasgos-na-contencao-a-dinamica-da-tragedia-da-um-passo-a-frente/>>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- BELOW, R.; WIRTZ, A.; GUHA-SAPIR, D. **Disaster Category** – Classification and peril Terminology for Operational Purposes. Brussels: CRED / Munich: MunichRe Foundation, 2009. 19p.
- BORDE, E.; CAMELO, L.V.; PILECCO, F.B. What the tragic floods in Southern Brazil tell us about health-centered climate-resilient development in Latin American cities. **The Lancet Regional Health – Americas**, v.35, 100817, 2024.
- BRASIL **Lei No. 12. 608, de 10 de abril de 2012.** Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20112014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- CASTRO, S.M.; ALMEIDA, J.R. Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: Uma revisão. **Sociedade & Natureza**, v.24, p.519-534, 2012.
- CLARKE, B. et al. **Climate change, El Niño and infrastructure failures behind massive floods in southern Brazil.** London: Imperial College London, 2024. 56p. DOI: <https://doi.org/10.25561/111882>
- COLLISCHONN, W.; RUHOFF, A.; CABELEIRA FILHO, R.; PAIVA, R.; FAN, F.; POSSA, T.; PICKBRENNER, K. **Chuva da cheia de 2024 foi mais volumosa e intensa que a da cheia de 1941 na bacia hidrográfica do Guaíba.** Nota Técnica IPH-UFRGS. Porto Alegre: UFRGS, 2024. 8p.
- COMITÊ ARARANGUÁ. **Desastres naturais acontecerão, mas o importante é monitorar, educar e estar preparado, alerta especialista.** Araranguá: Comitê do Rio Araranguá, 29 jun. 2024. Disponível em: <<https://www.aguas.sc.gov.br/base-documental-rio-ararangua/noticias-rio-ararangua/item/9923-desastres-naturais-acontecerao-mas-o-importante-e-monitorar-educar-e-estar-preparado-alerta-especialista>>. Acesso em 30 jun. 2024.
- DAVIS, R. Rio Grande do Sul Flooding, Brazil - April to June 2024. In: **Copernicus Emergency Management Service**, 13 jun. 2024. Disponível em: <<https://global-flood.emergency.copernicus.eu/news/170-rio-grande-do-sul-flooding-brazil-april-to-june-2024/>>. Acesso em: 01 jul. 2024.
- DEFESA CIVIL RS. **Defesa Civil atualiza balanço das enchentes no RS – 20/8.** Porto Alegre: Defesa Civil RS, 2024 Disponível em: <<https://www.defesacivil.rs.gov.br/defesa-civil-atualiza-balanco-das-enchentes-no-rs-10-7-66b67813ba21f-66c4eed627af9>>. Acesso em: 28 ago. 2024.
- FERREIRA, D.; ALBINO, L.; FREITAS, M.J.C.C. Mapeamento participativo para a gestão de risco de desastres: Região dos Baús, Ilhota – SC. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.69/4, p.713-730, 2017.
- FALKENMARK, M.; FOLKE, C. The ethics of socio-ecohydrological catchment management: towards hydrosolidarity. **Hydrology and Earth System Science**, v.6, n.1,

p.1-9, 2002.

FUSINATO, E.; HAN, S.; KOBIYAMA, M.; BRITO, M.M. Safe development paradox: evidence and methodological insights from a systematic review. **Natural Hazards**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06774-z>

FRANCK, A.G.; KOBIYAMA, M. Investigation and mapping of natural hazards areas related to mass movements in a geopark, in Southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.141, 104926, 2024.

FRANCK, A.G.; GUSMÃO, J.S.; KOBIYAMA, M. Avaliação da influência da resolução do modelo digital de terreno na modelagem numérica de escorregamentos e fluxo de detritos. **Revista Geonorte**, v.12, n.40, p.1-23, 2021.

G1 RS. **Um mês de enchentes no RS: veja cronologia do desastre que atingiu 471 cidades, matou mais de 170 pessoas e expulsou 600 mil de casa**. In: G1 Service, 29 mai. 2024. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/29/um-mes-de-enchentes-no-rs-veja-cronologia-do-desastre.ghtml#27>> Acesso em: 03 jun. 2024.

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M. Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.69, n.1, p.61-69, 2017.

GOMES, R.A.T.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; FERNANDES, N.F.; AMARAL JÚNIOR, E.V. Combining spatial models for shallow landslides and debris-flows prediction. **Remote Sensing**, v.5, p.2219-2237, 2013.

GONZÁLES-AVILA, I.; KOBIYAMA, M.; RUOSO, E.G.; CARVALHO, M.M. **Mapeamento Participativo em prevenção de desastres relacionados à água**: Estudo de caso de Comunidade Quilombola São Roque na divisa entre Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 26 jun. 2024. Nota Técnica do Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN) do IPH/UFRGS. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/06/Mapeamento_Participativo_VF.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2024. GPDEN. **Seminário sobre Movimentos de Massa na tragédia de 2024 no RS**: Um prognóstico geral baseado em observações locais. 31 jul. 2024. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/gpden/wordpress/?p=2680>>. Acesso em 02 ago. 2024.

GUIMARAENS, R. **A Enchente de 41**. Porto Alegre: Libretos, 2009. 100p.

JIMENEZ-CISNEROS, B. Responding to the challenges of water security: the Eighth Phase of the International Hydrological Programme, 2014–2021. **IAHS Publication**, v. 366, p. 10-19, 2015.

KOBIYAMA, M. **Pesquisador alerta para sequência de desastres climáticos na região**. Entrevistador: Ranieri Zilio Moriggin. Semanário, Bento Gonçalves, 1 jun. 2024. Disponível em: <<https://jornalsemanario.com.br/pesquisador-alerta-para-sequencia-de-desastres-climaticos-na-regiao/>>. Acesso em: 5 jun. 2024.

KOBIYAMA, M.; PAUL, L.R. Fluxos de detritos: Casos mundiais e brasileiros. In: CABRAL, V.C.; REIS, F.A.G.V.; GRAMANI, M.F.; KUHN, C.E.S.; LIMA E SILVA, O. (orgs.) **Corridas de detritos no Brasil**. Belo Horizonte: Federação Brasileira de

Geólogos – FEBRAGEO, 2022. p.35-44.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F.; FAN, F.M.; CORSEUIL, C.W.; MICHEL, G.P.; DULAC, V.F. Abordagem integrada para gerenciamento de desastres em região montanhosa com ênfase no fluxo de detritos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.7, n. esp, p.31-65, 2018.

KOBIYAMA, M.; MACIEL, J.G.F.; RUOSO, E.G.; FRANCK, A.G.; FAGUNDES, M.R. Lições aprendidas com grandes desastres recentes causados por eventos hidrológicos extremos no Brasil. **Revista Geonorte**, v.14, n.46, p.115-142, 2023.

KOBIYAMA, M.; RUOSO, E.G.; CAMPAGNOLO, K.; SATO, A.M.; FAGUNDES, M.R.; ZAMBRANO, F.C. Bacia escola: Modelo para a gestão integrada dos recursos hídricos. **Revista Geonorte**, v.15, n.51, p.1-28, 2024.

LUGON, A.P.; PALASSI, M.P. Participação dos Núcleos de Defesa Civil do Município de Vitória na Gestão de Desastres Naturais. **Psicologia Política**, v.12, n.24, p.345-361, 2012.

MARTINS, M. **Chuvas no Rio Grande do Sul causam inundação histórica em Porto Alegre**. In: RFI, 04 mai. 2024. Disponível em: <<https://www.rfi.fr/pt/mundo/20240504-chuvas-no-rio-grande-do-sul-causam-inunda%C3%A7%C3%A3o-hist%C3%B3rica-em-porto-alegre>>. Acesso em: 01 ago. 2024.

MATINS-FILHO, P.R.; CRODA, J. ARAÚJO, A.A.S.; CORREIA, D. QUINTANS JÚNIOR, L.J. Catastrophic Floods in Rio Grande do Sul, Brazil: The Need for Public Health Responses to Potential Infectious Disease Outbreaks. **Journal of the Brazilian Society of Tropical Medicine**, v.57, e00603-2024, 2024.

MELGAREJO, L. Editorial: Rio Grande do Sul: capitalismo do desastre ou Agroecologia? **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.9, p.120-130, 2024.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL **Instrução normativa No. 02, de 20 de dezembro de 2016**. Brasília: Diário Oficial da União 245, 2016.

NEGREDO, J.C. A Defesa Civil que não se conhece ou que não se vê. In: FRANK, B.; SEVEGNANI, L. (orgs.) **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí**. Água, gente e política. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009. p.62-69.

OLIVEIRA, F.M.; HOLANDA, T.C.; RAMALHO, A.L.O.S.; KLOECKNER, N.V.R.; MOURA, I.E.M.O.; RICARTE, T.L.; RIBEIRO, K.V. Rains, Tragedies and Media Coverage: Analysis of Floods in Rio Grande do Sul. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.18, n.4, e06861, 2024.

PARK, D.W.; LEE, S.R.; VASU, N.N.; KANG, S.H.; PARK, J.Y. Coupled model for simulation of landslides and debris flows at local scale. **Natural Hazards**, v.81, p.1653-1682, 2016.

PAULA, D. S. de et al. **Nota técnica No 412/2024/SEI-CEMADEN**. São José dos Campos: Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, 2024. 13p. Mapeamento dos movimentos de massa relacionados ao desastre de abril-maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/notas-tecnicas/nota-tecnica-no-412-2024-sei-cemaden->

mapeamento-dos-movimentos-de-massa-relacionados-ao-desastre-de-abril-maio-2024-no-estado-do-rio-grande-do-sul>. Acesso em: 27 ago. 2024.

PILLAR, V.D.; OVERBECK, G.E. Learning from a climate disaster: The catastrophic floods in southern Brazil. **SCIENCE**, v.385, n.6713, 2024.

POSSANTTI, I.; MULLER, J.; RUHONFF, A. (Eds.). **Cheias no rio grande do Sul** – Base de dados e informações geográficas na região hidrográfica do lago Guaíba e na Lagoa dos Patos em 2024. Porto Alegre: UFRGS, 2024. Disponível em: <<https://storymaps.arcgis.com/stories/a81d69f4bccf42989609e3fe64d8ef48>>. Acesso em: 01 jul. 2024.

QUINTANILHA, B.L.; DEUS, L.A.B. Mapeamento participativo: uma análise de possibilidades para a educação geográfica. **Revista Brasileira de Educação em Geografia**, v.12, n.22, p.5-28, 2022.

RENNÓ, C.D.; NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; SOARES, J.V.; HODNETT, M.G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.3469-3481, 2008.

SILVA, T.S. et al. **Vazões no Rio Guaíba durante os picos da enchente de maio de 2024**. Porto Alegre, 24 jul. 2024. Nota técnica do convênio PORTOS-RS e UFRGS. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/07/05_Nota-Vazoes-no-Rio-Guaiba-durante-os-picos-da-enchente-de-maio-de-2024.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2024.

SANTOS, E.G.; RIBEIRO, M.A.T. A gestão de risco e a participação da comunidade moradora de áreas vulneráveis. In: FREITAS, F; PINHO, I.; RODRIGUES, A.I.; FARIA, B.M.; COSTA, A.P. (eds.) **Investigação Qualitativa em Ciências Sociais: Avanços e Desafios**, Aveiro: Ludomedia, 2020. p.217-229.

SILVA, A.R.; SANTOS, V.M.N. O papel da participação social na Redução de Riscos de Desastres no Brasil. **Labor & Engenho**, v.16, p.1-14, e022012, 2022.

SILVEIRA, A.L.L.; DORNELLES, F.; GOLDENFUM, J.A.; POSSA, T.M.; COLLISCHONN, W.; MORAES, S.R. A histórica cheia de 1941 na bacia hidrográfica do Guaíba. In: ZANANDREA, F.; KOBIYAMA, M.; MICHEL, G.P.; FLEISCHMANN, A.S.; COLLISCHONN, W. (orgs.) **Desastres e água: eventos históricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRHidro, 2023. p.29-47.

SMITH, W.S.; SILVA, F.L.; BIAGIONI, R.C. Desassoreamento de rios: quando o poder público ignora as causas, a biodiversidade e a ciência. **Ambiente & Sociedade**, v.22, e00571, 2019.

SUZIN, R.O. **Quatro medidas que poderiam ter minimizado as enchentes no Rio Grande do Sul**. In: Gazeta do Povo. Curitiba, 08 mai. 2024. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/brasil/quatro-medidas-que-poderiam-ter-minimizado-as-enchentes-no-rio-grande-do-sul/>>. Acesso em: 01 ago. 2024.

TAKAHASHI, T. **Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures**. Leiden: Taylor & Francis/ Balkema, 2007. 448p.

- TAVANTI, R.M.; SPINK, M.J. Ações locais e prevenção: Um estudo com adolescentes que vivem em áreas de risco socioambiental. **Ambiente & Sociedade**, v.17, p.213-232, 2014.
- UNESCO. **IHP-IX: Strategic Plan of the Intergovernmental Hydrological Programme: Science for a Water Secure World in a Changing Environment**, ninth phase 2022-2029. Paris: UNESCO, 2022. 51p.
- UNESCO Office Bangkok and Regional Bureau for Education in Asia and the Pacific; UNICEF Regional Office for East Asia and the Pacific. **Disaster Risk Reduction (DRR) in education: an imperative for education policymakers**. UNESCO-UNICEF Office, Bangkok, 2011.10p. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000213925>>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- USACE-HEC **River Analysis System, HEC-RAS v5.0** – User’s Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 2016. 547p. Disponível em: <<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2022.
- USGS. **Landslide Types and Processes**. United States Geological Survey. 2004. 4p. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>> Acesso em: 10 ago. 2024.
- VANNOTE, R.L.; MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J.R.; CUSHING, C.E. The River Continuum Concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.37, p.130-137, 1980.
- VASCONCELLOS, S.M.; KOBİYAMA, M.; DAGOSTIN, F.S.; CORSEUIL, C.W.; CASTIGLIO, V.S. Flood Hazard Mapping in Alluvial Fans with Computational Modeling. **Water Resources Management**, v.35, p.1463–1478, 2021.
- ZAMBRANO, F.C.; KOBİYAMA, M.; PEREIRA, M.A.F.; MICHEL, G.P.; FAN, F.M. Influence of different sources of topographic data on flood mapping: urban area São Vendelino municipality, southern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.25, e40, 2020.
- ZAMBRANO, F.C.; KOBİYAMA, M.; FRANCK, A.G.; GONZÁLES-AVILA, I.; MICHEL, R.D.L.; MACIEL, J.G.F.; RUOSO, E.G. Variação das áreas de inundação observadas em campo durante o desastre de maio de 2024 em Porto Alegre. In: IV Encontro Nacional de Desastres, Curitiba, 2024, Porto Alegre: ABRHidro, **Anais[...]**, 2024. 4p. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=16810>>. Acesso em: 15 out. 2024.
- ZHENG, H.; SHI, Z.; SHEN, D.; PENG, M.; HANLEY, K.J.; MA, C.; ZHANG, L. Recent Advances in Stability and Failure Mechanisms of Landslide Dams. **Frontiers in Earth Sciences**, v.9, 659935, 2021.
- ZHONG, Q.; CHEN, L.; MEI, S.; SHAN, Y.; WU, H.; ZHAO, K. Numerical investigation of hydro-morphodynamic characteristics of a cascading failure of landslide dams. **Journal of Mountain Science**, v.21, p.1868-1885, 2024.