

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CARACTERIZAÇÃO DO DESASTRE OCORRIDO EM DEZEMBRO DE 2020 NA REGIÃO DO ALTO VALE DO ITAJAÍ

Clarissa G. Salvador¹; Heron Schwarz²; Leonardo R. Paul³; Bruno Henrique Abatti⁴; Gean P. Michel⁵; Masato Kobiyama⁶; Guilherme Censi⁷; Matheos Abner Silva⁸; Franciele Zanandrea⁹; Anne Biehl¹⁰; & Cássio Martinez Machado¹¹

Palavras-Chave – Movimentos de massa, inundações, eventos extremos.

INTRODUÇÃO

Desastres são definidos como o distúrbio desencadeado por um perigo natural que resulta em perdas humanas, materiais, econômicas e ambientais que excedem a capacidade de resposta da comunidade afetada ao perigo (UNDP, 2004). A ocorrência de um desastre está vinculada à interação entre fatores humanos e ambientais, sendo impulsionada pelo efeito do crescimento populacional (LI et al. 2021) e, em alguns casos, sob influência das mudanças climáticas (TEESELAAR et al. 2020). Desastres vinculados à ocorrência de precipitações extremas são frequentes ao longo da paisagem, contudo, seu reconhecimento e a percepção de perigo pela população de locais específicos nem sempre acompanham a frequência de ocorrência destes eventos.

Eventos de precipitação extrema que resultam em desastres por inundação podem ocasionar a perda de vidas e prejuízos econômicos (YUAN et al. 2018), especialmente quando associados a movimentos de massa, como fluxos de detritos e escorregamentos. No Vale do Itajaí, em Santa Catarina (SC), o impacto resultante desses eventos é evidente quando analisado o histórico de desastres da região. Dentre os registros, destaca-se o desastre ocorrido no ano de 2008, quando inundações e movimentos de massa resultaram em cerca de 1,5 milhões de pessoas diretamente atingidas e mais de R\$ 5 bilhões em prejuízos (Banco Mundial, 2012). Em dezembro de 2020, a região sofreu novamente com um desastre de grande magnitude, desencadeado por um evento de precipitação extrema concentrado, majoritariamente, nos municípios de Ibirama, Presidente Getúlio e Rio do Sul. Este evento resultou na deflagração de diversos movimentos de massa e inundações bruscas. As perdas associadas ao evento incluem cerca de 20 fatalidades e mais de 100 pessoas desalojadas (MICHEL et al. 2021).

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; clarissa.salvador@ufrgs.br

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; heron.schwarz@ufrgs.br

3) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; leonardopaul@ufrgs.br

4) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; bruno.abatti@ufrgs.br

5) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; gean.michel@ufrgs.br

6) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; masato.kobiyama@ufrgs.br

7) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; guilherme.censi@hotmail.com

8) Programa de Desastres Naturais da Universidade Federal de Santa Catarina; matheos.as@hotmail.com

9) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; franciele.zanan@gmail.com

10) Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS; biehlanne@gmail.com

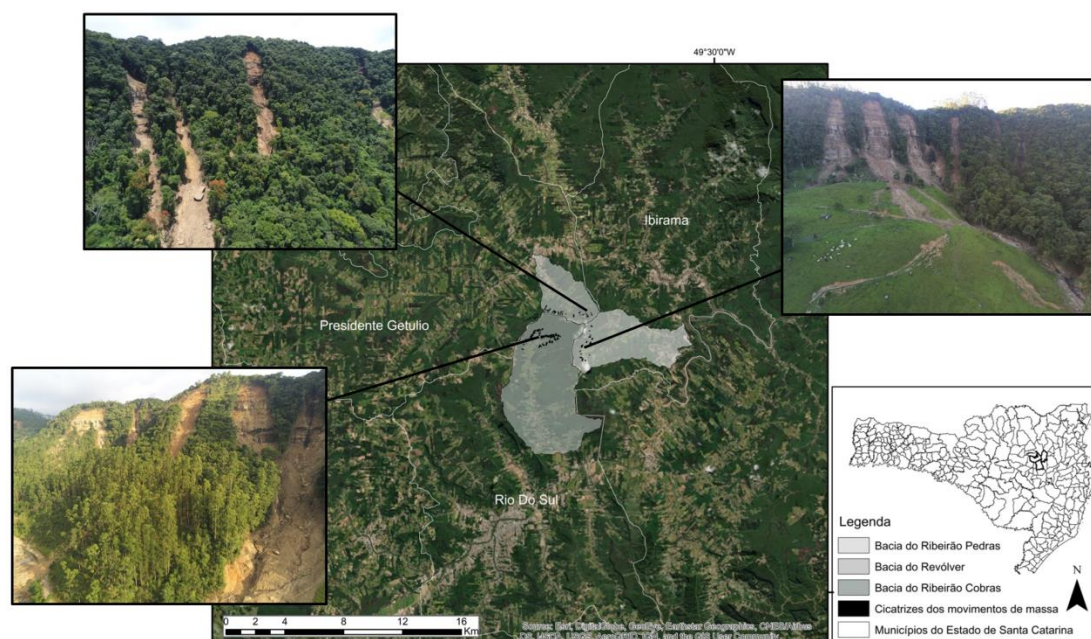
11) Faculdade de Agronomia – UFRGS; cassiomartinez@gmail.com

O registro histórico de desastres associados à precipitação extrema em municípios inseridos na bacia hidrográfica do Itajaí remete até o período de colonização, no ano de 1880 (MATTEDI, 1999). Embora o simples registro seja de suma importância, a caracterização do evento e a conscientização da sociedade sobre os processos envolvidos são essenciais o gerenciamento dos desastres, desde a sua prevenção até as ações de resposta e recuperação. Assim, com o acesso à informação e a capacitação de membros da sociedade civil, é possível ampliar a percepção de risco da comunidade e auxiliar os tomadores de decisão em iniciativas eficientes na redução de riscos de desastres. Neste aspecto, o presente trabalho propõe-se a descrever e caracterizar o desastre ocorrido em dezembro de 2020 na região do Alto Vale do Itajaí, SC, especificamente nos municípios de Ibirama, Rio do Sul e Presidente Getúlio.

METODOLOGIA

A região do Alto Vale do Itajaí - SC sofre frequentemente com desastres decorrentes de eventos de precipitação extrema. O evento ocorrido entre os dias 16 e 17 de dezembro de 2020 atingiu especificamente uma região na divisa entre os municípios de Rio do Sul, Ibirama e Presidente Getúlio (Figura 1). Um evento de precipitação extrema deflagrou escorregamentos, fluxos de detritos e inundações bruscas, atingindo a comunidade local com grandes perdas, prejuízos e fatalidades.

Figura 1. Localização da área atingida pelo evento e cicatrizes de movimentos de massa deflagrados.



Descrição da área de ocorrência

A área de ocorrência do desastre está inserida na bacia do rio Itajaí-Açu, na região conhecida como Alto Vale do Itajaí, entre as Serras do leste Catarinense e os Patamares do Alto do Rio Itajaí. As Serras do Leste Catarinense são caracterizadas por um conjunto de serras cristalinas subparalelas, enquanto os Patamares do Alto do Rio Itajaí configuram extensos patamares e mesas limitadas por escarpas, ambas as regiões apresenta grande amplitude altimétrica (SANTA CATARINA, 2016). A formação local é composta por rochas sedimentares, arenitos, ritmitos, folhelhos, diamicitos e siltitos (CPRM, 2019). Nas cicatrizes de escorregamentos, é possível identificar a interface entre arenitos e folhelhos, de estratificação praticamente horizontal.

A declividade da região varia de 0° a 90° com inclinações praticamente verticais nas áreas próximas às cabeceiras, limitando a profundidade do solo nas encostas a camadas pouco espessas,

com cerca de 1 metro de profundidade. Em função da elevada declividade, a cobertura de solo nessas áreas é majoritariamente florestada por mata nativa ou reflorestamento. O relevo da região, variando predominantemente entre ondulado e fortemente ondulado, apresenta forte dissecção pelos rios, com vales profundos e encaixados. Algumas áreas mais planas e com vales abertos contemplam, frequentemente, as comunidades estabelecidas, como nos municípios de Rio do Sul, Ibirama e Presidente Getúlio. Os três municípios computam uma área de aproximadamente 800 km², mas as três bacias com maior incidência dos movimentos de massa, bacia do ribeirão Cobras (Rio do Sul), bacia do arroio Revólver (Presidente Getúlio) e bacia do ribeirão Pedras (Ibirama), abrangem ao todo 75 km². A população, conforme censo de 2010 do IBGE, é de cerca de 60 mil habitantes em Rio do Sul, em torno de 17 mil habitantes em Ibirama e de 15 mil habitantes em Presidente Getúlio, sendo esse último, com a menor população e a maior área, o mais afetado pelo evento.

A região do Alto Vale do Itajaí apresenta precipitação média anual de cerca de 1600 mm, distribuídos em todas as estações, mas mais concentrados nos meses de verão (GOTARDO et al., 2018). Em função da localização geográfica e da topografia, o Alto Vale do Itajaí recebe os ventos de origem marítima que facilitam a convergência de umidade no interior do vale e, conseqüentemente, a ocorrência de chuvas (ESCOBAR et al., 2015). Em vista disso, Escobar et al. (2015) apontam a mesorregião do Vale do Itajaí como uma das mais vulneráveis aos desastres associados a eventos meteorológicos extremos.

Caracterização dos processos ocorridos

Precipitação

A fim de caracterizar os processos envolvidos no desastre de dezembro de 2020, o presente estudo utilizou como terminologia a classificação do *Centre of Research on Epidemiology of Disasters* (CRED). Assim, o evento foi classificado como um desastre hidrológico deflagrado em função do elevado índice de precipitação, desencadeando movimentos de massa úmida e inundações bruscas. A precipitação com maior intensidade, associada à ocorrência de falhas nas encostas, iniciou durante a noite e início da madrugada entre os dias 16 e 17 de dezembro de 2020. O início da precipitação foi por volta das 22h, seguido da deflagração dos movimentos de massa entre as 23h e 24h, conforme relato dos moradores. Alguns registros de deslizamentos pontuais ocorreram nos dias 13 e 14 de dezembro, período em que iniciou a precipitação na região. Entretanto, esses movimentos ocorreram em estradas e vias com corte de taludes e aterro das margens, constituindo processos completamente diferentes dos movimentos deflagrados posteriormente, que afetaram toda a região e caracterizaram o desastre.

Os municípios de Rio do Sul e Presidente Getúlio dispõem de pluviômetros automáticos com medição a cada 10 minutos, disponibilizados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), que registraram respectivamente, em um intervalo de aproximadamente 4 horas durante o evento, os valores de 89mm e 124mm. O município de Ibirama conta com um pluviômetro semiautomático, instalado na sede da Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC), registrando apenas dados diários. Apesar da elevada precipitação durante a ocorrência do evento, um fator determinante é atribuído à chuva antecedente que manteve com elevada umidade os solos declivosos da região. Os registros das 96h anteriores até o evento estimam a precipitação nos municípios de Rio Do Sul, Presidente Getúlio e Ibirama, respectivamente, em 187 mm, 242 mm e 183 mm.

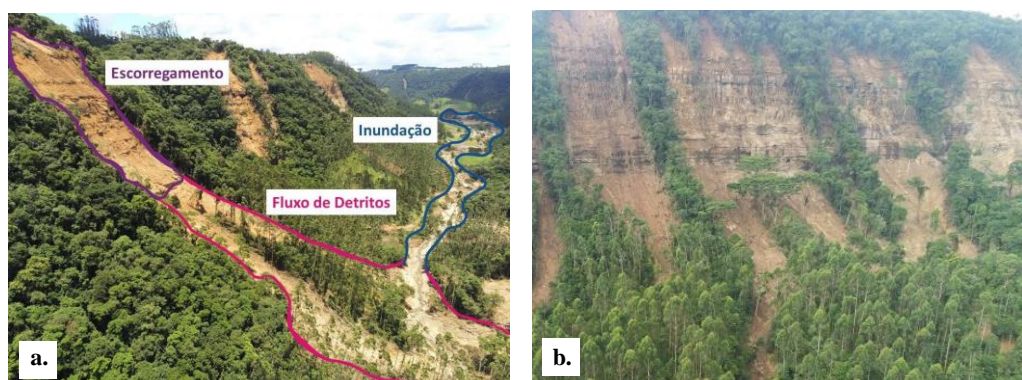
Movimentos de Massa

Os movimentos deflagrados, decorrentes do evento de precipitação, representam uma sucessão de processos descritos a partir de sua origem nas cabeceiras até regiões mais planas, onde se concentram as áreas urbanas. A evolução desse processo é segmentada em três fenômenos

distintos que ocorrem sequencialmente com diferentes níveis de mobilização. A origem dos processos se dá pela ruptura da camada de solo nas encostas, caracterizando os escorregamentos translacionais rasos, isto é, escorregamentos cuja massa de solo deslocado apresenta comprimento muitas vezes superior à largura e baixa espessura. A evolução desse movimento dá origem aos fluxos de detritos, que em regiões a jusante se propagam como inundação de detritos (Figura 2a).

A ruptura da camada de solo, dando origem aos escorregamentos (Figura 2b), ocorre pelo aumento das tensões cisalhantes e redução das tensões resistivas que atuam sobre a encosta. A infiltração da água da chuva aumenta o peso da camada de solo e assim, a tensão cisalhante, ao mesmo tempo em que o aumento da poro-pressão reduz o atrito entre as camadas e conseqüentemente reduz a resistência global da encosta, provocando a falha. Nguyen et al. (2010) indicam três principais fatores que contribuem no desencadeamento de escorregamentos por precipitação excessiva: o tipo de solo, a cobertura e o gradiente de declividade. Apesar dos escorregamentos terem ocorrido em áreas florestadas, onde a coesão do solo é favorecida pelas raízes, as declividades apresentam valores bastante íngremes, de até 65° na origem dos escorregamentos. Além disso, a interface identificada nas cicatrizes da encosta, do contato entre arenitos e folhelhos, pode indicar um fator de grande influência na deflagração, uma vez que essas rochas apresentam características muito discrepantes de infiltração, incentivando a erosão diferencial entre as camadas e favorecendo a deflagração dos processos.

Figura 2. a. Exemplificação dos processos sobre a área de ocorrência; b. Encostas da Serra Mirador, após deflagração.



Hurlimann et al. (2015) classifica os escorregamentos rasos ocorridos nas encostas em três grupos: i) escorregamentos não transformados em fluxos, ii) escorregamentos parcialmente transformados em fluxos e iii) escorregamentos completamente transformados em fluxos. Os escorregamentos não transformados e parcialmente transformados cessam sem alcançar grandes distâncias, influenciados pela morfologia da encosta, disponibilidade de material e pelo nível de fluidificação do material. Já os escorregamentos completamente transformados, os quais passam a ser chamados fluxos de detritos, alcançam grande mobilidade, percorrendo longas distâncias com elevado potencial destrutivo. Segundo Pastorello et al. (2020) as variáveis que influenciam a deflagração de um fluxo de detritos são a declividade da encosta, a disponibilidade de sedimento e a absorção de água. Mecanismos de iniciação singular desse movimento ocorrem geralmente inseridos no canal de drenagem e configuram processos característicos de deflagração, como através de grande aporte de sedimentos ou erosão das margens e bancos de sedimentos no canal. No entanto, em eventos de precipitação extrema é comum que sejam desencadeados a partir dos escorregamentos, onde a massa de solo sofre liquefação aumentando a sua mobilidade, ou sofre uma deformação que acelera progressivamente com o aumento da poro-pressão, sem necessariamente iniciar o movimento já liquefeita (CAREY et al., 2021).

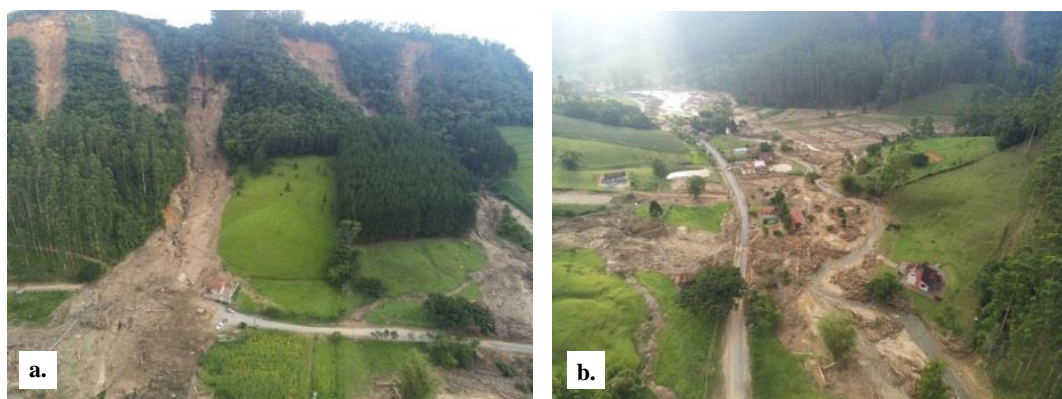
Os fluxos de detritos são movimentos de velocidade alta a muito alta, caracterizados por uma mistura de materiais, de composição e proporção variada, inseridos ou não em um canal de

drenagem (Figura 3a). A energia associada ao movimento garante uma altíssima capacidade de transporte, onde além da massa do fluxo com a presença de solo, rochas, matéria orgânica e água, podem ser incorporados grandes blocos de sedimento e fragmentos de estruturas e edificações. Ainda, em ambientes florestados a contribuição de material lenhoso é bastante elevada, de forma que os troncos passam a influenciar os padrões de alcance e deposição do fluxo (LANCASTER et al., 2013), e o fluxo passa a ser chamado de fluxo de detritos lenhosos, como ocorrido no evento. Em função de suas características, mobilizando grande volume de material, os fluxos de detritos são considerados um dos movimentos mais destrutivos dentre os processos geomorfológicos (IMAZUMI et al., 2019), especialmente por percorrerem longas distâncias, atingindo comunidades relativamente afastadas das áreas de encosta.

Inundações Bruscas (de Detritos)

Ao longo do percurso de propagação dos fluxos de detritos, parte dos sedimentos passa a depositar em função das menores declividades e por obstáculos no trajeto, enquanto que a vazão líquida cresce com o aumento da área de contribuição. Dessa forma, nas áreas mais a jusante da origem dos escorregamentos, o processo passa a propagar como inundação de detritos, com forte carga de sedimentos finos ainda não depositados, troncos e matéria vegetal (Figura 3). A inundação de detritos difere do fluxo pela redução da concentração de sedimentos e conseqüentemente atenuação das forças de impacto, embora seja responsável por grandes perdas e danos às margens do rio. A deposição de material oriundo dos movimentos de massa pode levar à formação de barragens naturais. O rompimento destas barragens, por sua vez, pode levar a geração de inundações bruscas, ocasionando pulsos de vazão acrescidos à vazão do rio já potencializada pela precipitação, resultando em elevações bruscas do nível do rio. No evento em questão, na bacia do ribeirão Cobras, em Rio do Sul, foi identificada a formação de uma barragem natural, com materiais oriundos dos movimentos de massa, a qual se estabilizou e não veio a romper. Além disso, no arroio Revólver, em Presidente Getúlio, verificou-se que as estradas rurais do município, as quais atravessavam o trajeto do ribeirão, foram levadas pela inundação, demonstrando que as mesmas podem ter operado como barramentos levando a formação de pequenos reservatórios que vieram a romper, potencializando a ocorrência das inundações bruscas fortemente carregadas com detritos.

Figura 3. a. Escorregamentos sobre a região de estudo. b. Progressão do fluxo de detritos sobre a área.



Mapeamento das cicatrizes

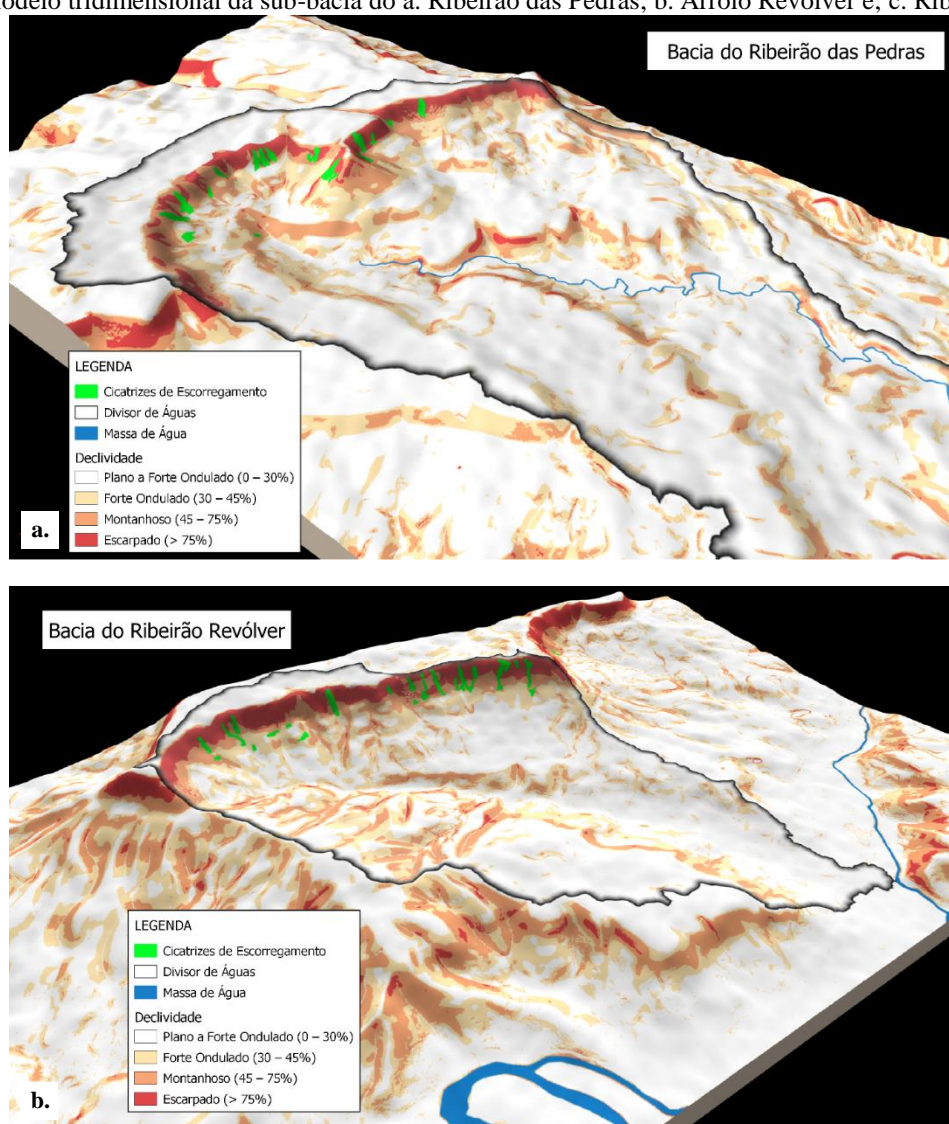
As cicatrizes de escorregamentos foram mapeadas utilizando método de detecção de mudança por índices de vegetação, conforme metodologia de Schwarz (2019). O método utiliza como base produtos dos sensores multiespectrais *Sentinel-2 A* e *B*, disponíveis pré e pós-deflagração, com resolução espacial de 10 m. Para análise foi estimado o *Modified Soil Vegetation Index 2 – MSAVI2* para todas as imagens multiespectrais, com menos de 5 % de nuvens sobre a área, obtidas entre janeiro de 2019 e fevereiro de 2020. Foi então calculada a média do *MSAVI2* das

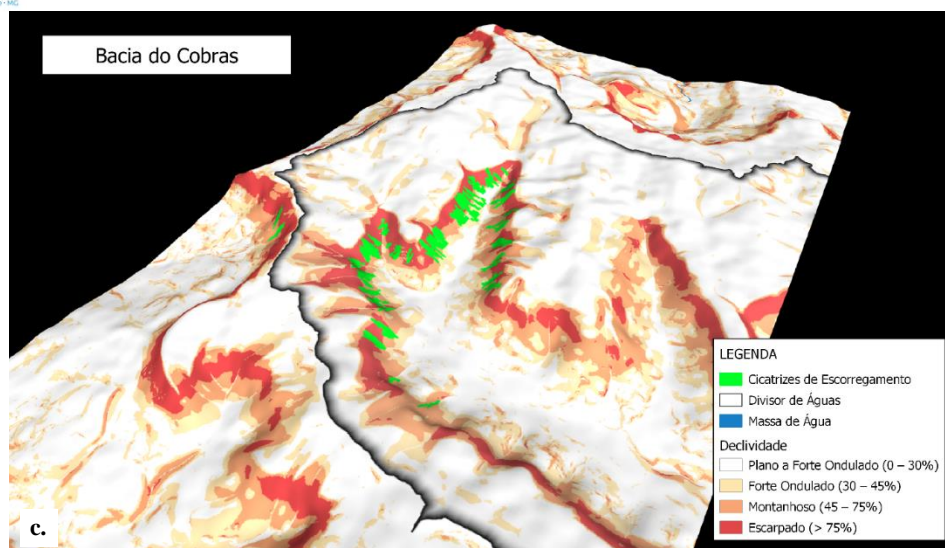
imagens obtidas em 2019, para a geração da imagem pré-deflagração e, em seguida, das imagens obtidas em 2020, para a imagem pós-deflagração. À subtração entre ambas as imagens de *MSAVI2* médio foi aplicado um filtro limitando a declividade mínima de mapeamento das cicatrizes, a fim de considerar apenas a zona de ruptura e excluindo as áreas de deposição ou falsos positivos referentes à corpos hídricos ou áreas de plantio agrícola.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cicatrizes dos escorregamentos e fluxos de detritos mapeadas na área do evento resultaram em uma área atingida de 0,44 km², sem considerar as áreas de passagem e deposição da inundação de detritos, representado 1,7% da área total das três bacias. A maior concentração das cicatrizes ocorreu na Serra do Mirador sobre a divisa dos três municípios, com 98 cicatrizes identificadas, atingindo as áreas de propagação do rio do ribeirão das Pedras em Ibirama (Figura 4a), do arroio Revólver em Presidente Getúlio (Figura 4b) e ribeirão Cobras em Rio do Sul (Figura 4c).

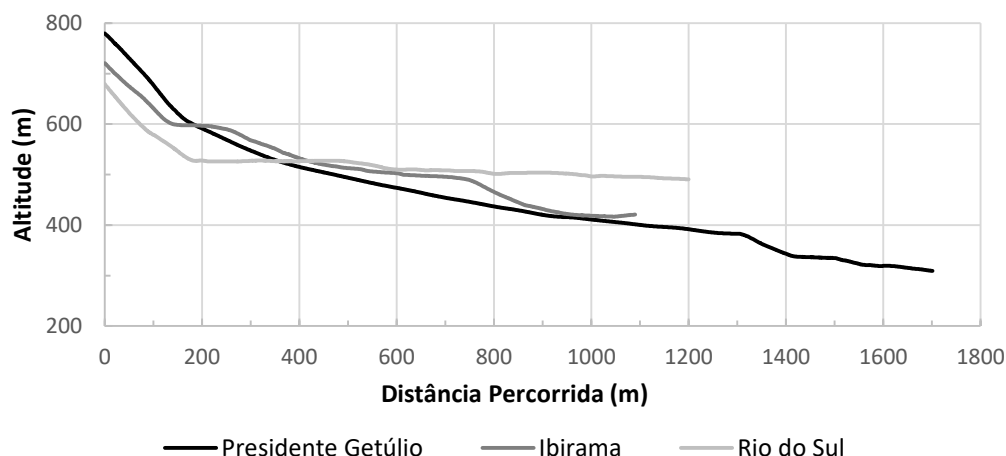
Figura 4. Modelo tridimensional da sub-bacia do a. Ribeirão das Pedras; b. Arroio Revólver e; c. Ribeirão Cobras.





Os escoamentos não transformados ou parcialmente transformados em fluxos atingiram extensões variando de 120 a 300 metros. Os fluxos de detritos, transformados em inundações, atingiram distâncias maiores (Figura 5) de até 1800 metros no município de Presidente Getúlio, ultrapassando as áreas habitadas até alcançar o arroio Revólver. Nesse cenário, em que o fluxo seguiu o trajeto pelo canal de drenagem, grandes blocos e material lenhoso foram encontrados distribuídos ao longo das margens do rio, a partir do qual o fluxo passou a percorrer até a região central do município como uma inundação de detritos. A variação de elevação entre as áreas de origem e o ponto de maior alcance com evidência de deposição de material foi de cerca de 500 metros.

Figura 5. Perfil longitudinal das áreas afetadas por escoamentos em cada município.



Os municípios de Rio do Sul e Ibirama tiveram áreas de deposição de fluxo formadas muito próximas das áreas de iniciação nas encostas, que são pouco habitadas, de forma que grande parte do material ficou retido antes de todo o volume ser incorporado aos canais. Essa condição reduziu consideravelmente os impactos gerados a jusante, que foram decorrentes de inundações com menor quantidade de detritos que seguiu pelos canais de drenagem por cerca de 1200 metros. Em Rio do Sul a maior diferença altimétrica entre o início dos escoamentos e o final da zona de deposição foi de 190 metros. Em Ibirama, a maior parte dos escoamentos ocorreu sobre um vale suspenso, com uma quebra de relevo no trajeto do fluxo nos primeiros 500 metros, de forma que grande parte do material deslocado ficou retido sobre esse vale (Figura 6). A diferença de elevação entre a origem e o final da área de deposição é de aproximadamente 300 metros.

Figura 6. Presença do vale suspenso na bacia do Ribeirão das Pedras em Ibirama.



A composição de material do fluxo apresenta detritos e sedimentos de dimensões variadas, sendo que a porção de folhelhos foi responsável por gerar uma parcela de sedimentos mais finos, enquanto os arenitos contribuíram com blocos de maior dimensão (Figura 7a). Além disso, a forte presença dos detritos lenhosos na propagação dos fluxos de detritos e inundações acabou atenuando as consequências do movimento em algumas condições e potencializando a sua magnitude em outras. Devido a grande quantidade e dimensão dos detritos lenhosos, alguns troncos acabaram contribuindo para destruição de estruturas. Enquanto em alguns pontos o acúmulo desse material acabou servindo como barreira natural para conter os sedimentos do fluxo (Figura 7b).

Figura 7. a. Arenitos mobilizados no fluxo de detritos em Presidente Getúlio; b. Presença de detritos lenhosos.



Os fluxos de detritos foram os principais responsáveis pelas perdas de vidas humanas relacionadas ao evento. Já a maior parte das perdas e danos, decorrentes sobretudo dos processos de inundações, foi intensificada pela presença de inúmeras residências às margens dos cursos hídricos, em áreas de preservação permanente (APP). Essas áreas demonstram um elevado nível de suscetibilidade a fluxos de detritos canalizados e inundações bruscas, onde, durante eventos

extremos, ocorre o rápido aumento da lâmina da água e grande aporte de sedimentos, culminando no extravasamento da calha do rio e no impacto direto de estruturas próximas. Algumas residências sofreram um impacto atenuado pela presença de açudes a montante da edificação, onde verificou-se o acúmulo de detritos depositados. Esses açudes, construídos com diferentes finalidades, acabaram servindo como contenção para os fluxos de detritos e inundações, onde grande parte do material ficou depositado, reduzindo a energia e o potencial de impacto do movimento. Tal processo já foi relatado por Michel et al. (2017) em diferentes localidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresentou a caracterização do desastre ocorrido nos municípios de Rio do Sul, Ibirama e Presidente Getúlio, no Alto Vale do Itajaí em dezembro de 2020. Compõe parte Relatório Técnico desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN), do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Dentre as principais considerações sobre a caracterização do evento, destaca-se que:

- O desastre foi resultado da ocorrência de uma estação chuvosa, responsável por criar uma condição de elevada umidade das encostas, culminada com um evento de precipitação de alta intensidade entre os dias 16 e 17 de dezembro.
- Diversos escorregamentos foram deflagrados nas encostas da Serra Mirador em virtude deste evento chuvoso, os quais convergiram para os canais de drenagem e formaram fluxos de detritos com alto potencial destrutivo.
- Ao longo dos rios principais das bacias afetadas, a grande quantidade de escoamento superficial, associada aos detritos oriundos dos movimentos de massa, resultou em inundações bruscas com grande quantidade de sedimentos, classificadas como inundações de detritos.
- As principais áreas afetadas foram as áreas próximas às margens de arroios, ribeirões e rios da região, as quais naturalmente são propensas à ocorrência destes processos.
- A maior parte das mortes relacionadas ao evento foi ocasionada pelos fluxos de detritos, demonstrando a importância do mapeamento das áreas propensas a tal fenômeno, o que requer, nas metodologias mais avançadas, modelos com base hidráulica/hidrodinâmica.
- A propagação do conhecimento e a compreensão dos processos ocorridos são vistas como estímulo à percepção de risco pela sociedade, que por sua vez passa a ter maior conscientização frente aos desastres ocorridos na região.
- A região do Alto Vale do Itajaí, tal qual demais regiões montanhosas, apresenta outras inúmeras áreas com similar propensão aos fenômenos naturais e desastres ocorridos, sendo necessário o mapeamento de tais locais e incorporação destas informações nos planos de governo para prevenção de novos desastres e redução de impactos.

REFERÊNCIAS

- BANCO MUNDIAL. Avaliação de perdas e danos: inundações bruscas em Santa Catarina – novembro de 2008. Brasília: Banco Mundial, 2012.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. (2019). Mapa geológico do Estado de Santa Catarina. GEOSGB. Escala 1:500.000.
- ESCOBAR, G.C., SELUCHI, M.E. and ANDRADE, K. (2016). “Classificação Sinótica de Frentes Frias Associadas a Chuvas Extremas no Leste de Santa Catarina (SC).” *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(4), pp.649-661.

GOTARDO, R.; PIAZZA, G. A.; TORRES, E.; SEVERO, D. L.; KAUFMANN, V. (2018). “Distribuição espacial e temporal das chuvas no Estado de Santa Catarina.” *Geosul*, Florianópolis, 33(67), pp. 253-276.

HURLIMANN, M.; McARDELL, B. W.; RICKI, C. (2015). “Field and laboratory analysis of the runout characteristics of hillslope debris flows in Switzerland.” *Geomorphology*, 232, pp. 20-32.

IMAIZUMI, F.; MASUI, T.; YOKOTA, Y.; TSUNETAKA, H. HAYAKAWA, Y. S.; HOTTA, N. (2019.) “Initiation and Runout characteristics of debris flow surges in Ohya landslide scar, Japan.” *Geomorphology*, 339, pp. 58-69.

LANCASTER, S.T.; HAYES, S.K.; GRANT, G.E. (2003) “Effects of wood on debris flow runout in small mountain watersheds.” *Water Resources Research*, 39(6), 20 p.

LI, H.; XU, E.; ZHANG, H. (2021). “Examining the coupling relationship between urbanization and natural disasters: A case study of the Pearl River Delta, China.” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 55, 11 p.

MATTEDI, M. A. As enchentes como tragédias anunciadas: impactos da problemática ambiental nas situações de emergência em Santa Catarina. 297 p. Tese de Doutorado. Unicamp/IFCH, Campinas, 1999.

MICHEL, G.P.; SCHWARZ, H.; ABATTI, B.H.; PAUL, L.R.; SILVA, M.A.; ZANANDREA, F.; SALVADOR, C.G.; CENSI, G.; BIEHL, A.; KOBIYAMA, M. Relatório técnico dos desastres de dezembro de 2020 nos municípios de Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul -SC. Volume I. Porto Alegre: GPDEN/IPH/UFRGS, 2021. 53 p.

NERY, J. T.; BALDO, M. C.; MARTINS, M. L. O. F. (2000) “O Comportamento da Precipitação na Bacia do Itajaí.” *Acta Scientiarum (UEM)*, Maringá, 22(5), pp. 1429-1435.

PASTORELLO, R.; MICHELINI, T.; D’AGOSTINO, V. (2017). “On the criteria to create susceptibility map to debris flow at a regional scale using Flow-R.” *Journal of Mountain Science*, 14(4), pp. 621-635.

SANTA CATARINA. Fascículo Completo: Atlas Geográfico de Santa Catarina. Diversidade da natureza – Fascículo 2. DOI: 105965/978858302078322016. 2016.

SCHWARZ, H. Identificação, mapeamento e caracterização de cicatrizes de escorregamentos. 154 pg. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2019.

TESSALAAR, M.; BOTZEN, W.J.W.; AERTS, J.C.J.H. (2020) “Impacts of Climate Change and Remote Natural Catastrophes on EU Flood Insurance Markets: An Analysis of Soft and Hard Reinsurance Markets for Flood Coverage”. *Atmosphere*, 11(146), 20 p.

UNDP – United Nations Developed Programme. (2004). “Reducing disaster risk: a challenge for development.” New York: UNDP, 130p.

YUAN, J.; EMURA, K.; FARNHAM, C.; ALAM, M. A. (2018). “Frequency analysis of annual maximum hourly precipitation and determination of best fit probability distribution for regions in Japan.” *Urban Climate*, 24, pp. 276-286.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH).