

## ANÁLISE DO EVENTO EXTREMO HIDROLÓGICO OCORRIDO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORQUETA EM JANEIRO DE 2010

*Guilherme Garcia de Oliveira<sup>1\*</sup>; Taísa Flores<sup>2</sup>; Nestor Antonio Bresolin Junior<sup>3</sup>*

**Resumo** – Em janeiro de 2010 ocorreu a maior enxurrada já observada na Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta. O objetivo deste estudo é apresentar uma análise integrada desse evento extremo hidrológico, com ênfase na dinâmica meteorológica associada à precipitação intensa, nos aspectos morfométricos relacionados às áreas de movimentos de massa e nos fenômenos hidrológicos resultantes do evento. A análise foi fundamentada principalmente no uso de dados obtidos por sensoriamento remoto, dados hidrometeorológicos e relatos obtidos em expedições de campo. Pode-se constatar uma forte influência de Jatos de Baixos Níveis e um corredor de umidade proveniente de noroeste, associada a um centro de baixa pressão na Região do Chaco. Esse mecanismo atmosférico gerou uma precipitação acumulada superior a 250 mm em 24 h. Concluiu-se que a chuva deflagrou uma sequência de deslizamentos e corridas de detritos nos vales do Rio Fão e Arroio Tereza. Esse material pode ter se acumulado e bloqueado o canal, formando barreiras naturais e promovendo o acúmulo de água e sedimentos a montante. Em seguida, esses barramentos devem ter se rompido, resultando em uma forte enxurrada nos vales dos rios Fão e Forqueta.

**Palavras-Chave** – Desastres naturais; Movimentos de massa; Enxurradas.

## ANALYSIS OF THE EXTREME HYDROLOGICAL EVENT THAT OCCURRED IN THE FORQUETA RIVER BASIN IN JANUARY 2010

**Abstract** – In January 2010 occurred the most intense torrent ever observed in the Forqueta River Basin. The main purpose of this study is to present an integrated analysis of this extreme hydrological event, emphasizing the meteorological dynamics associated to the intense precipitation, to the morphometric aspects related to the landslides areas and to the resulting hydrological phenomena of the event. The analysis has been found mainly on the use of data obtained by remote sensing, hydrometeorological data and reports gathered during field expeditions. The results show strong influence of Low Level Jets and Humidity Corridor coming from northwest, associated with a Low Pressure System in the Gran Chaco area. This atmospheric mechanism generated an accumulated precipitation higher than 250 mm in 24 h. It has been concluded that the precision unleashed a sequence of landslides and debris flows in the Fão River and Tereza Stream valleys. This material may have been accumulated and obstructed the channel, resulting in natural blockages and leading to water and sediments accumulation upstream. Subsequently, these blockages may have ruptured, resulting in an strong torrent in the Fão and Forqueta River valleys.

**Keywords** – Natural disasters; Landslides; Flash Floods.

## INTRODUÇÃO

Os desastres naturais que ocorrem no Brasil são, na sua maioria, de origem hidrometeorológica. As precipitações extremas são alguns dos fenômenos que mais contribuem para a ocorrência de desastres na Região Sul do Brasil (CEPED, 2013). Uma das consequências mais

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento Interdisciplinar, e-mail: [g.g.oliveira10@gmail.com](mailto:g.g.oliveira10@gmail.com); <sup>2</sup> Centro Universitário UNIVATES, e-mail: [taisa.flores@univates.br](mailto:taisa.flores@univates.br); <sup>3</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Engenharia Civil, e-mail: [nbresolin@gmail.com](mailto:nbresolin@gmail.com).

\* Autor Correspondente.

drásticas da ocorrência de chuvas intensas sobre determinada região são as inundações, enxurradas e os movimentos de massa, que ainda podem ser agravadas por ventos fortes, granizo, entre outros (Teixeira e Satyamurty, 2004).

O termo desastres pode ser definido como o resultado de eventos extremos, naturais ou provocados pelo homem, sobre uma área vulnerável, na qual causam danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais (Santos, 2007; Oliveira *et al.*, 2017). A partir de 1970, observou-se grande aumento dos impactos causados por desastres naturais na Região Sul do Brasil, os quais geraram significativos prejuízos socioeconômicos e humanos, pois não só estão mais frequentes como também mais intensos (Marcelino, 2008). Países em desenvolvimento, como o Brasil, são particularmente sensíveis aos desastres naturais. Os motivos para isso são complexos, mas estão ligadas ao uso da terra e à desigualdade na distribuição de renda, que acabam por relegar às faixas populacionais de baixa renda os locais de mais alto risco para moradia (BRASIL, 2010). Isso fica claro ao se verificar que os países em desenvolvimento são responsáveis por 95% das mortes decorrentes de desastres naturais entre 1970 e 2008 (IPCC, 2012).

Dentre os desastres naturais que ocorrem no Brasil, as inundações, as enxurradas e os movimentos de massa são os que ocorrem com maior frequência e causam os maiores prejuízos. Estes eventos correspondem a 73% das ocorrências e 82% dos óbitos em função de desastres naturais no Brasil, entre 1900 e 2006 (Marcelino, 2008). Entre 2001 e 2016, aproximadamente 1,3 bilhões de pessoas foram afetadas por inundações e enxurradas em todo o mundo, com 285 mil pessoas feridas e 96 mil óbitos, além de prejuízos da ordem de US\$ 400 bilhões. No Brasil, neste mesmo período, foram afetadas 6,8 milhões de pessoas, com mais de 2.500 óbitos e prejuízo aproximado de R\$ 20 bilhões (CRED, 2017). Ainda, de acordo com o mesmo banco de dados, dentre os desastres naturais que ocorrem no Brasil, os movimentos de massa estão entre os que causam o maior número de óbitos. Somente no Brasil, os óbitos relacionados aos movimentos de massa e outros fenômenos associados totalizaram 2.351 pessoas em 54 ocorrências registradas no banco de dados do *Centre For Research On The Epidemiology Of Disasters*.

A Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, um dos principais afluentes do Rio Taquari, apresenta problemas recorrentes no que se refere aos impactos causados por eventos extremos hidrológicos. As grandes inundações e enxurradas observadas na bacia, subsequentes à ocorrência de chuvas intensas, concentram elevados volumes de água que se propagam com alta velocidade nos canais fluviais declivosos. As principais enxurradas nesta região estão relacionadas com o extravasamento das águas dos Rios Fão e Forqueta, principalmente nas áreas urbanas dos municípios de Marques de Souza, Lajeado e Arroio do Meio (Ferri, 1991; Oliveira *et al.*, 2017).

Nos dias 03 e 04 de janeiro de 2010 ocorreu a maior enxurrada que se tem registro na Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta. A precipitação acumulada nesses dias superou os 250 mm em boa parte da bacia, fazendo com que o nível do Rio Forqueta chegasse a subir mais de um metro por hora, causando estragos e desabrigando centenas de pessoas no vale. Na cidade de Marques de Souza, as águas do Rio Forqueta subiram tão rapidamente que não deu tempo para as comunidades retirarem seus pertences, nem resgatar seus animais (Cas, 2015).

Mesmo com a magnitude do evento e seus graves impactos às comunidades ribeirinhas dos rios Fão e Forqueta, esse fenômeno ainda não foi devidamente estudado, nem em relação ao mecanismo atmosférico que provocou a precipitação intensa, nem no âmbito da dinâmica de movimentos de massa e consequentes corridas de detritos e enxurradas. Assim, o objetivo deste estudo é apresentar uma análise integrada do evento extremo hidrológico ocorrido na Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta em janeiro de 2010, com ênfase na dinâmica meteorológica associada

à precipitação intensa, nos aspectos morfométricos relacionados às áreas de movimentos de massa e nos fenômenos hidrológicos resultantes do evento, bem como os danos e prejuízos associados.

## METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma análise integrada do evento extremo ocorrido em janeiro de 2010 no vale dos rios Fão e Forqueta (Figura 01). Essa análise pode ser subdividida em quatro etapas, que se refere a diferentes aspectos do evento: i) dinâmica meteorológica; ii) movimentos de massa e análise morfométrica; iii) dinâmica hidrológica e a enxurrada resultante; iv) análise de impactos, danos e prejuízos, como mostra o fluxograma apresentado na Figura 02.

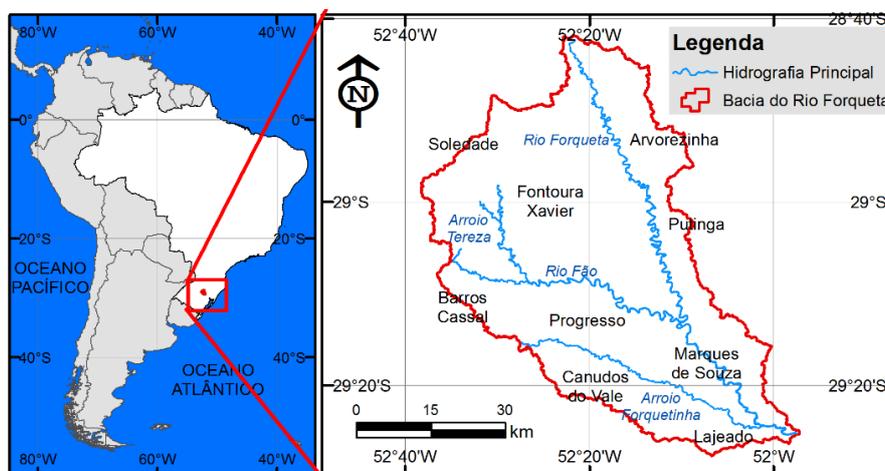


Figura 01 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta. Fonte: do autor (2017).

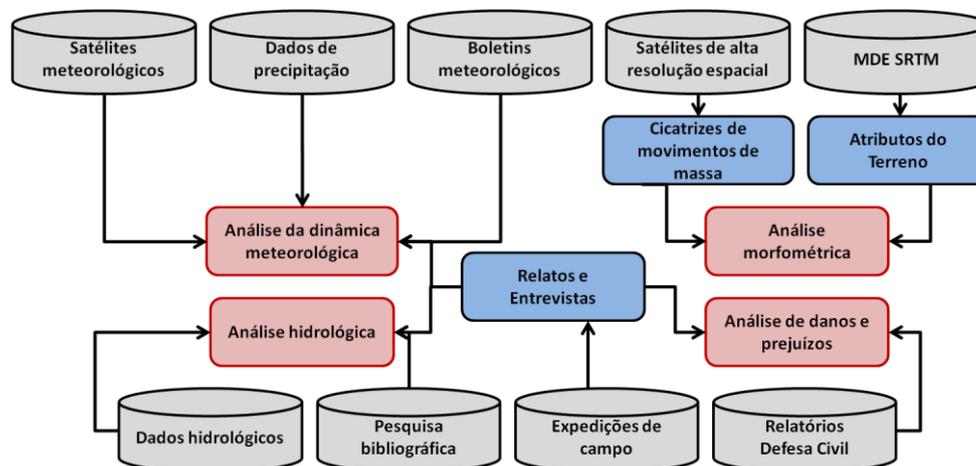


Figura 02 – Fluxograma das atividades desenvolvidas no estudo. Fonte: do autor (2017).

Para a análise detalhada dos mecanismos e dinâmica atmosférica associada à precipitação intensa ocorrida nesse evento extremo, primeiramente foram analisados os boletins meteorológicos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE) e do Núcleo de Informações Hidrometeorológicas da Univates (NIH-UNIVATES). Além disso, foram compiladas as imagens dos satélites meteorológicos GOES 12, obtidas junto à Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA-INPE), para interpretação da dinâmica em um contexto mais regional. Por fim, foram analisados os dados disponíveis de precipitação, provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do NIH-UNIVATES e de alguns

pluviômetros da Defesa Civil e de moradores locais (consultados durante expedições de campo). O uso conjunto dessas informações permitiu inferir sobre o sistema meteorológico atuante sobre a bacia hidrográfica, bem como caracterizar a precipitação nos contextos temporal e espacial.

A segunda etapa do estudo se refere à organização de um inventário de cicatrizes de movimentos de massa e à extração dos atributos do terreno para uma análise morfométrica das áreas que tiveram esses fenômenos deflagrados na ocasião. Após uma rápida investigação em campo e em mídias locais, foi relatada a ocorrência de deslizamentos na porção do Alto Rio Fão. Esses relatos serviram de referência para uma investigação completa em imagens de alta resolução espacial, disponíveis no aplicativo *Google Earth*. Assim, analisando imagens pré-evento (do ano de 2008) e pós-evento (de 2012) foram identificadas muitas cicatrizes, as quais foram inventariadas e alguma delas validadas em expedições de campo. Os polígonos de cicatrizes foram transformados para o formato de pontos (cada polígono foi preenchido por uma malha regular de pontos, com mesma resolução do modelo digital de elevação, MDE), tendo em vista a necessidade de se extrair o maior número de informações de uma única cicatriz e ampliar o conjunto amostral. As amostras foram segmentadas em duas zonas, que apresentam características distintas: i) zona de ruptura e deslizamentos; ii) zona de corridas e acúmulo de detritos.

A partir dos dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponíveis no portal *Earth Explorer*, foram extraídos os seguintes atributos numéricos do terreno: i) altitudes; ii) declividades; iii) curvaturas horizontal e vertical do terreno; iv) orientação do terreno; v) distância da hidrografia; vi) distância dos topos de morros e linhas de cumeada; vii) fator topográfico (LS); viii) índice de profundidade do vale (VD). A relação entre esses atributos e o conjunto de amostras de cicatrizes de movimentos de massa foi analisada espacialmente, resultando em uma análise morfométrica, por meio de estatísticas espaciais, buscando-se identificar os limiares de cada variável em relação à ocorrência de movimentos de massa. Além disso, as cicatrizes foram analisadas em relação à área, comprimento e largura.

A terceira etapa consiste na análise das consequências hidrológicas que se resumem em enxurradas e inundações nos vales dos rios Fão e Forqueta. Para tanto, foram analisados os dados fluviométricos disponíveis (Hidroweb; PCH Salto Forqueta - Certel Energia) e uma revisão de estudos anteriores que realizaram uma breve análise dos aspectos hidrológicos do evento de 2010. O principal deles, o estudo apresentado por Cas (2015), que analisou por meio de modelagem hidrológica a pequena influência dos barramentos da bacia hidrográfica para a atenuação da cheia. Além disso, foram realizadas expedições à campo para verificar com os moradores as principais áreas atingidas e ter uma dimensão da magnitude e duração da enxurrada.

Por fim, buscando uma avaliação preliminar dos impactos, danos e prejuízos, foram compilados relatos e entrevistas de campo, consulta a mídias locais, com o relatório da Defesa Civil que informa alguns dados em relação aos danos, vítimas e número de pessoas atingidas. A integração dessas informações permitiu fazer um balanço sobre as perdas e identificar espacialmente as principais atividades afetadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os dados do INMET, em Soledade, e da UNIVATES em Lajeado, a precipitação iniciou no dia 03/01/2010, aproximadamente, entre 18h e 19h. Em apenas 21 horas, o acumulado superou os 200 mm em Soledade, como indica a Figura 03. O período entre 11:00 e 16:00 do dia 04/01 foi o de precipitação mais intensa, com 106 mm em apenas cinco horas. Em

Soledade, o total acumulado foi de 247 mm, enquanto que em Lajeado o acumulado foi de 189 mm, indicando uma concentração nas áreas de montante da Bacia Hidrográfica do Rio Rolante.

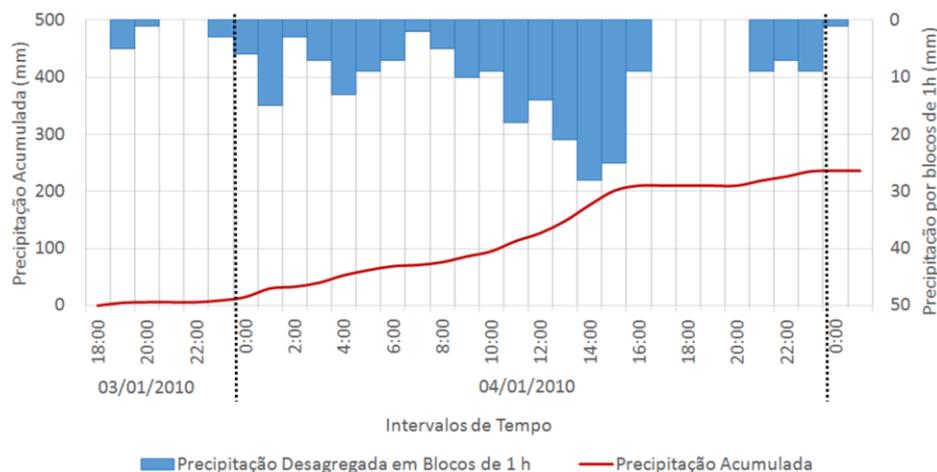


Figura 03 – Precipitação acumulada e desagregada em blocos para o período entre 03/01/2010 e 05/01/2010, em Soledade, RS, na estação automática do INMET. Fonte: do autor (2017).

Essa concentração fica mais evidente quando realizada uma comparação com os dados disponíveis no banco de dados da Defesa Civil. Em cidades da porção mais a montante, como em Putinga, Progresso, Barros Cassal, Fontoura Xavier e Arvorezinha, a precipitação superou o valor de 200 mm. Em Fontoura Xavier, por exemplo, o acumulado foi de 327 mm e em Barros Cassal foi de 290 mm. Já na porção mais a jusante, em Marques de Souza, o total acumulado foi de apenas 37 mm. Esses valores foram também validados em campo, em entrevistas com moradores da área rural, que relataram precipitação acumulada superior a 200 mm em seus pluviômetros.

Na Figura 04 é apresentada uma sequência de imagens do satélite meteorológico GOES 12, obtidas junto ao INPE/CPTEC/DAS, em intervalos de três horas, entre os dias 03/01 e 04/01. Com base nessas imagens, nos boletins meteorológicos do CPTEC e da UNIVATES, e nas condições meteorológicas das estações automáticas, pode-se constatar uma forte influência de Jatos de Baixos Níveis (JBN) e um corredor de umidade proveniente de noroeste, associada a um centro de baixa pressão localizado na Região do Chaco. Esse mecanismo atmosférico é comum nesse período do ano e pode provocar fortes áreas de instabilidade sobre o Sudeste e o Sul do Brasil, com o deslocamento de massas quentes e úmidas, e sistemas convectivos como os CCMs (Complexos Convectivos de Mesoescala). O sistema convectivo observado nas imagens, durante alguns intervalos de tempo, apresentou topo das nuvens com temperatura inferior a  $-70^{\circ}\text{C}$ , em uma área suavemente circular com raio superior a 150 km (04/01, entre 12:00 e 18:00).

Em relação aos movimentos de massa, a investigação nas imagens do *Google Earth* permitiu identificar 121 cicatrizes nas encostas e extensas manchas de detritos e sedimentos grosseiros no leito dos rios, principalmente no trecho alto do Rio Fão e seus afluentes, como o Arroio Tereza. A área total das cicatrizes mapeadas foi de 27 hectares, com comprimento médio de 250 metros e largura de 20 metros. Em expedição a campo, foi verificada que a profundidade média é inferior a um metro nas cicatrizes visitadas, indicando a predominância de deslizamentos rasos. Os relatos dos moradores indicam que esses deslizamentos ocorreram quase que simultaneamente, e praticamente todos resultaram em grande acúmulo de detritos no fundo dos vales, provocando a formação de barreiras naturais no leito dos rios, que acumularam em um primeiro momento a água escoada de montante. Algumas das áreas propícias para que isso tenha ocorrido são ilustradas na Figura 05, onde o Arroio Tereza e o Rio Fão possuem um forte controle estrutural com meandros em cotovelos

e ângulos retos. Nessas curvas, houve um conjunto de deslizamentos que, ao ocorrerem simultaneamente, podem ter provocado o barramento do rio pelos detritos de solos e rochas e material vegetal das árvores. Esse fenômeno já foi relatado em publicações internacionais, conhecido como *Valley Blocking Landslide*, existindo inclusive indícios de ter ocorrido também em Rolante, RS, em janeiro de 2017, conforme o relatório apresentado pelo DRH-SADS (2017).

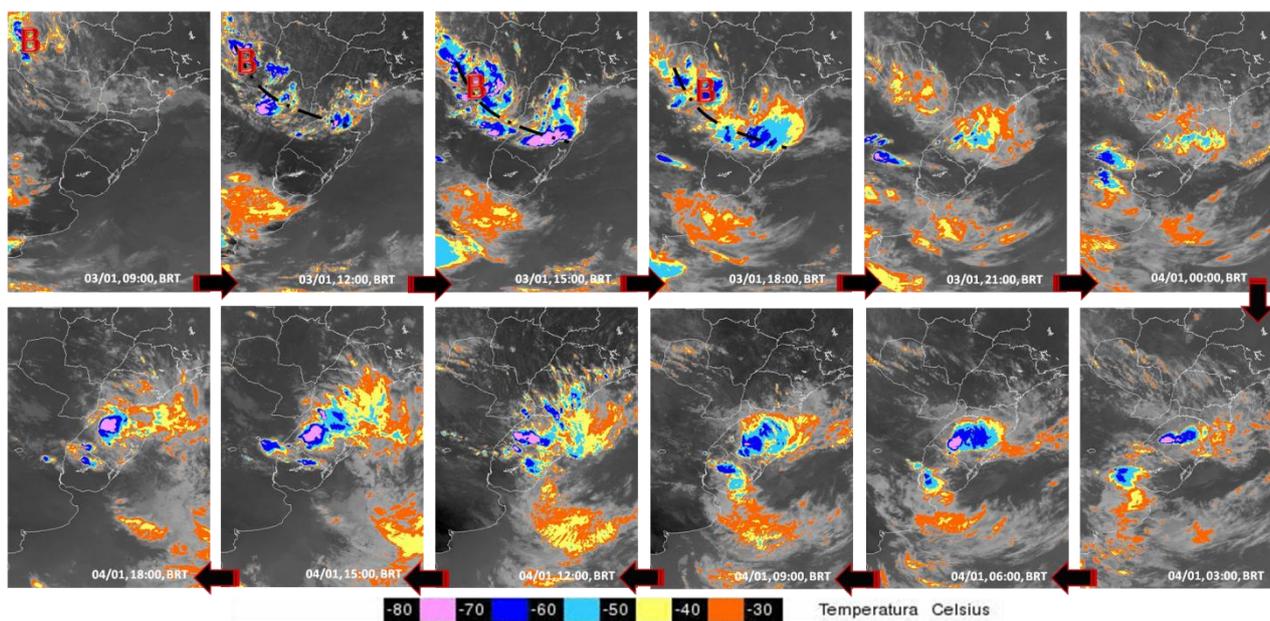


Figura 04 – Sequência de imagens do satélite meteorológico GOES 12, no período entre 03/01 e 04/01/2010, obtidas junto ao INPE/CPTEC/DSA. Fonte: do autor (2017).

Em relação à análise morfométrica em pontos localizados nas cicatrizes, pode-se destacar que 90% das amostras estão localizadas em altitudes entre 330 e 735 m, com média de 535 metros e tendência à distribuição normal. A declividade média das amostras foi de 31°, sendo que apenas 10% das amostras estão localizadas em áreas com declividades inferiores a 15°, apresentando também um comportamento que segue a distribuição normal. Considerando a curvatura do terreno, 67% das amostras se localizam em áreas de relevo côncavo, que predominam na primeira metade das encostas, mais próximo das linhas de drenagem. Integrando com a curvatura horizontal, pode-se afirmar que a maior parte das cicatrizes fica em áreas de relevo côncavo-convergente, isto é, em encostas com formato de anfiteatro, com fluxo convergente da água das chuvas. Por fim, em relação à orientação do terreno predominante, as cicatrizes apresentam uma concentração nas vertentes SE, S e SW, que apresentam solos mais úmidos e profundos e vegetação mais densa, em função da menor quantidade de iluminação ao longo do ano nos subtropicais.

As evidências de campo, conforme entrevistas e relatos dos moradores, e a modelagem hidrológica realizada por Cas (2015) apontam para o rompimento das barreiras naturais que se formaram ao longo do Rio Fão e Arroio Tereza. Isso porque todos mencionam uma grande “onda” no período da tarde do dia 04/01, após a ocorrência dos deslizamentos a montante. Os moradores do vale do Rio Forqueta, nos municípios de Pouso Novo, Marques de Souza e Travesseiro, relataram que o rio subiu de forma mais rápida do que o normal, chegando a atingir cotas nunca antes registradas pela população. Em alguns pontos do Rio Fão, o nível de enxurrada superou em 20 metros o nível normal, mais que cinco metros acima da maior enxurrada já observada até então.

O estudo de Cas (2015) não considerou a possibilidade de acúmulo de água a montante e o rompimento das barreiras naturais, calculando uma vazão máxima de aproximadamente 4.300 m<sup>3</sup>/s

em Marques de Souza, considerando apenas a transformação da chuva em vazão e a propagação da onda de cheia pelo método Muskingum-Cunge. Esse valor é muito próximo a uma enxurrada resultante de uma precipitação máxima com tempo de retorno de 30 anos, comparando com o estudo de Oliveira et al. (2017), o que não condiz com o observado na realidade. Esses indícios mostram que possivelmente ocorreu um fenômeno hidrológico diferenciado, possivelmente associado aos deslizamentos, corridas de detritos e acúmulo de material bloqueando o vale a montante. Ao romperem as barreiras naturais, o resultado é uma rápida e violenta onda de enxurrada, que provocou a destruição completa de duas grandes pontes, centenas de edificações, campings, um cemitério, entre outras estruturas.

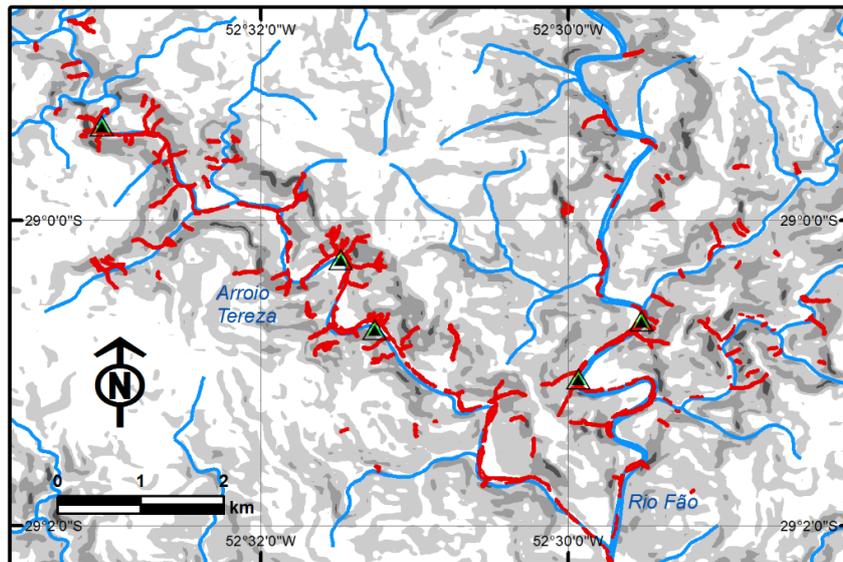


Figura 05 – Cicatrizes de movimentos de massa e áreas com acúmulo de detritos (em vermelho) do evento extremo ocorrido em janeiro de 2010, em função das declividades (tons de cinza). Os triângulos indicam pontos onde pode ter ocorrido a formação de barreiras naturais no Arroio Tereza e no Rio Fão. Fonte: do autor (2017).

Na cidade de Marques de Souza, as águas do Rio Forqueta subiram rapidamente não dando tempo para as pessoas retirarem seus pertences, nem resgatar animais. As propriedades situadas em áreas ribeirinhas, baseadas em agricultura e pecuária, bases da economia deste município, foram destruídas por completo. A enxurrada causou grandes prejuízos materiais em boa parte da cidade ocasionando a falta de água e de energia elétrica (Cas, 2015).

Ao todo, no RS, 112 municípios informaram danos à Defesa Civil nesse evento extremo, totalizando 46.924 pessoas afetadas diretamente, sendo desabrigadas ou desalojadas. De acordo com os dados da Defesa Civil, 50 pessoas ficaram feridas e três foram mortos, estes últimos em Agudo, sobre uma importante ponte que foi destruída pela inundação do Rio Jacuí. Considerando apenas a Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, foram aproximadamente 2.500 pessoas afetadas diretamente, com 35 feridos em Canudos do Vale. Algumas famílias foram resgatadas nos telhados de suas residências pela Defesa Civil.

## CONCLUSÕES

Neste estudo foi apresentada uma análise do evento extremo hidrometeorológico que causou graves impactos na Bacia Hidrográfica do Rio Rolante em janeiro de 2010. A análise realizada em relação ao fenômeno atmosférico, aos movimentos de massa e à dinâmica hidrológica, bem como as evidências observadas em campo, permitiu chegar à conclusão de que as intensas chuvas que

ocorreram entre a noite do dia 03/01 e a tarde do dia 04/01 deflagraram uma sequência de deslizamentos e corridas de detritos nos vales do Rio Fão e Arroio Tereza. Esse material pode ter se acumulado e bloqueado o canal, formando barreiras naturais e promovendo o acúmulo de água e sedimentos a montante. Esses barramentos devem ter se rompido em algum momento da tarde do dia 04/01, resultando em uma forte onda de cheia, nunca antes observada pelos moradores localizados a jusante dessa área, nos vales dos rios Fão e Forqueta.

Essa conclusão revela uma condição que pode ser preocupante nas áreas da Serra Geral do Rio Grande do Sul, ainda mais porque um fenômeno semelhante foi relatado e pode ter ocorrido em outra região, na Bacia Hidrográfica do Rio Rolante, em 2017. Os resultados obtidos nesta pesquisa ainda precisam ser aprofundados, com a coleta de novos relatos e medições em campo para estimar o volume de material deslizado pelas encostas, visando modelar e/ou simular o fenômeno que ocorreu em 2010, sendo uma possível continuação para as pesquisas nessa área de estudo. Além disso, pretende-se gerar uma cartografia de suscetibilidade a partir de modelos matemáticos como Redes Neurais Artificiais, para identificar outras áreas com atributos do terreno semelhantes aos locais com cicatrizes de movimentos de massa.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília. 2010. Disponível em: [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0213/213909.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0213/213909.pdf). Acesso em: 05 jan. 2017.
- CAS, R. *Estudo da influência da PCH Salto Forqueta na enchente de 4 de janeiro de 2010*. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Lajeado: Centro Universitário Univates, 2015.
- CEPED - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: Brasil. 2013. Disponível em: [http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2012/01/AMAZONAS\\_mioloWEB.pdf](http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2012/01/AMAZONAS_mioloWEB.pdf). Acesso em 16 abr. 2017.
- CRED - CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. The international disaster database. 2017. Disponível em: <http://www.emdat.be/database>. Acesso em: 10 maio 2017.
- DRH-SADS – DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS – SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO RIO GRANDE DO SUL. Diagnóstico preliminar descritivo dos eventos ocorridos no dia 05 de janeiro de 2017 entre as regiões dos municípios de São Francisco de Paula e Rolante/RS. 26p. 2017.
- FERRI, G. *História do Rio Taquari-Antas*. 1ª ed. Encantado: Grafen, 1991.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012 pp. 1-19.
- MARCELINO, E. V. *Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos*. Santa Maria: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/CRS, 2008.
- OLIVEIRA, G.G.; FLORES, T.; HAETINGER, C.; BRESOLIN JR, N.A.; ECKHARDT, R.R.; QUEVEDO, R.P. Modelagem hidrológica e geotecnologias para análise de suscetibilidade a inundações e enxurradas em locais com baixa disponibilidade de dados altimétricos e hidrológicos. Artigo submetido para publicação na Revista Geociências (São Paulo, Online). 2017.
- SANTOS, R. F. (org.) *Vulnerabilidade Ambiental*. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília, 2007.
- TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Episódios de chuvas intensas na região sul do Brasil. Parte I: Configuração sinóptica associadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13. Fortaleza. *Anais*. 2004. CD-ROM, On-line. (INPE-12104- PRE/7450). Disponível em: <http://urlib.net/cptec.inpe.br/walmeida/2004/09.21.10.34>. Acesso em: 02 nov. 2016.