

## INFLUÊNCIA DE MOVIMENTOS DE MASSA NA CONECTIVIDADE DE SEDIMENTOS

*Bruno Henrique Abatti<sup>1</sup> ; Franciele Zanandrea<sup>1</sup> & Gean Paulo Michel<sup>1</sup>*

**Palavras-Chave** – Conectividade, Movimentos de Massa, Índice.

### INTRODUÇÃO

Para a representação da dinâmica hidrossedimentológica, deve-se considerar a dependência dos processos frente as variações de escala espacial e temporal (VENTE; POESEN, 2005). Nesse contexto, há um esforço em compreender a variação entre as taxas de erosão medidas em pequenas escalas espaciais e a produção de sedimentos em escalas maiores. O desafio da extrapolação dos efeitos de escala está principalmente relacionado as constantes alterações de fontes de sedimentos de acordo com os eventos meteorológicos, dificultando a previsão da transferência e deposição dos sedimentos (BRACKEN, 2015). À vista disso, considera-se que questões de frequência e magnitude governam a dinâmica de produção de sedimentos no qual a dinâmica de produção de sedimento é irregular e intermitente, dependendo do tipo de processo que a desencadeia (BATHURST et al., 2007; ACHARYA et al., 2009; KOBIYAMA et al., 2011; TSAI et al., 2012).

Nesse cenário, há um contínuo esforço em compreender e incluir a conectividade de sedimento na estimativa de produção de sedimento (VENTE et al., 2006; MASSELINK, et al., 2016). Seja na tentativa de considerar a variação das condições estruturais da bacia (e.g topografia) ou a variabilidade das condicionantes funcionais (e.g. escoamento superficial). Dessa maneira, percebe-se a necessidade de estudos que incluam eventos de grande magnitude na análise da dinâmica hidrossedimentológica. Assim, o presente trabalho objetiva avaliar a influência que movimentos de massa detêm sobre a conectividade de sedimentos, em uma bacia hidrográfica montanhosa com predominância de florestas a partir de um índice de conectividade.

### METODOLOGIA

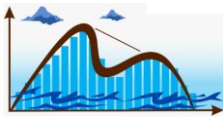
Para verificar o efeito dos movimentos de massa na conectividade de sedimentos de uma bacia montanhosa florestada, calculou-se a conectividade de sedimentos antes e após um evento extremo, que desencadeou mais de 420 escorregamentos, sucedido em janeiro de 2017 na bacia do rio Mascarada, situada entre os municípios São Francisco de Paula, Riozinho e Rolante, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A área de estudo está localizada na Bacia Sedimentar do Paraná, exibindo uma transição na pedologia entre arenitos e rochas basálticas e solos com profundidades entre 1 e 2 metros. A bacia possui uma área de contribuição de aproximadamente 320 km<sup>2</sup> com diversas encostas escarpadas.

À avaliação do grau de conectividade, foi realizada a partir do Índice de Conectividade (IC) desenvolvido por Borselli et al. (2008) modificado por Cavalli et al. (2013). A conectividade, antes e depois do evento, foi estimada a partir da variação na cobertura do solo e das alterações topográficas. A cobertura do solo foi avaliada a partir da classificação de imagens de satélite pré e pós evento. As informações topográficas foram obtidas a partir de Modelos Digitais de Terreno (MDT) pré e pós a ocorrência dos escorregamentos.

### ÍNDICE DE CONECTIVIDADE (IC)

O IC foi calculado em ambiente GIS, considerando apenas informações topográficas e de uso do solo. As variáveis topográficas foram extraídas de modelos digitais de terrenos (MDTs) e representam as feições da paisagem, enquanto a determinação das condições de cobertura do solo representa a impedância do terreno frente ao escoamento superficial e do transporte de sedimentos (CAVALLI et al., 2013). Este índice determina, em escala de pixel, o grau de conectividade de um determinado ponto de acordo com

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul - IPH/ UFRGS, bruno.abatti@gmail.com



áreas deposicionais, canais e o exutório da bacia hidrográfica. Para o cálculo do IC, são consideradas as características da área de contribuição, componente a montante (Dup), e características do fluxo a ser percorrido pelo sedimento até o ponto de interesse, componente de jusante (Ddn). Os resultados são expressos em todos os pixels em um intervalo de  $[-\infty, +\infty]$  sendo que quanto maior o valor obtido, mais conectado este ponto está com seu exutório.

Destaca-se que o índice de conectividade é extremamente sensível ao fator de impedância. Este fator varia no intervalo de 0.0 a 1.0 e representa a resistência que a paisagem exerce no fluxo de sedimento. Neste trabalho calculou-se o fator de impedância baseado no coeficiente hidráulico de Manning (n), de acordo com o trabalho desenvolvido por Zanandrea et al. (2019). Dessa maneira, para cada classe obtida na classificação supervisionada das imagens de satélite, foi atribuído um valor do coeficiente (n) e definido a impedância.

## CONJUNTO DE DADOS

A representação do período anterior aos escorregamentos foi feita a partir do modelo digital de terreno fornecido pelo Alaskan Satellite Facility (ASF, 2017; conjunto de dados: ASF DAAC, 2007, 2011). Este MDT possui resolução espacial de 12,5 m e é referente a fevereiro de 2011. Infelizmente não se detêm de um MDT de alta resolução para um período mais próximo ao evento. A topografia pós evento, foi representada a partir de um MDT de resolução espacial de 1m, obtido em fevereiro de 2017, elaborada pela empresa NTT DATA Corporation. Para que se pudesse ter a mesma escala de análise, fez-se uma reamostragem dos pixels para 12,5m.

As condições da cobertura do solo, anteriormente ao evento, foram definidas a partir da classificação de imagem supervisionada do satélite Sentinel-2 (Agência Espacial Europeia - ESA, 2015) de dezembro de 2016, com resolução de 10m (ZANANDREA et al., 2019). As classes definidas para a área de estudo foram: estradas, área urbana, floresta, pastagem, agricultura, solo exposto, rios e lagos. A caracterização da cobertura do solo, após os eventos de escorregamentos e fluxo de detritos, foi definida com a mesma imagem citada anteriormente, contudo foram adicionados as cicatrizes e depósitos de sedimentos sucedidos no evento de 2017.

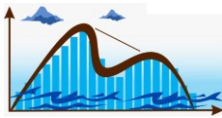
## RESULTADOS

### MUDANÇAS NA COBERTURA DO SOLO

A classificação da imagem de satélite demonstrou predominância de floresta (70%), áreas agrícolas (10%) e pastagem (8%). Acerca do impacto dos movimentos de massa na cobertura do solo, em função da escala de análise, constatou-se que não existiram grandes alterações. Como a maioria dos escorregamentos ocorreram na região central da bacia, as cicatrizes e depósitos sedimentares acabaram tendo seu impacto na cobertura do solo relativamente subestimado pela extensa área da bacia. Fato este, que observações a campo e de imagens mais detalhadas revelam a nítida alteração nas encostas e formações de depósitos no canal, como exemplificado na Figura 1.

Figura 1 – Modificações da paisagem devido aos movimentos de massa





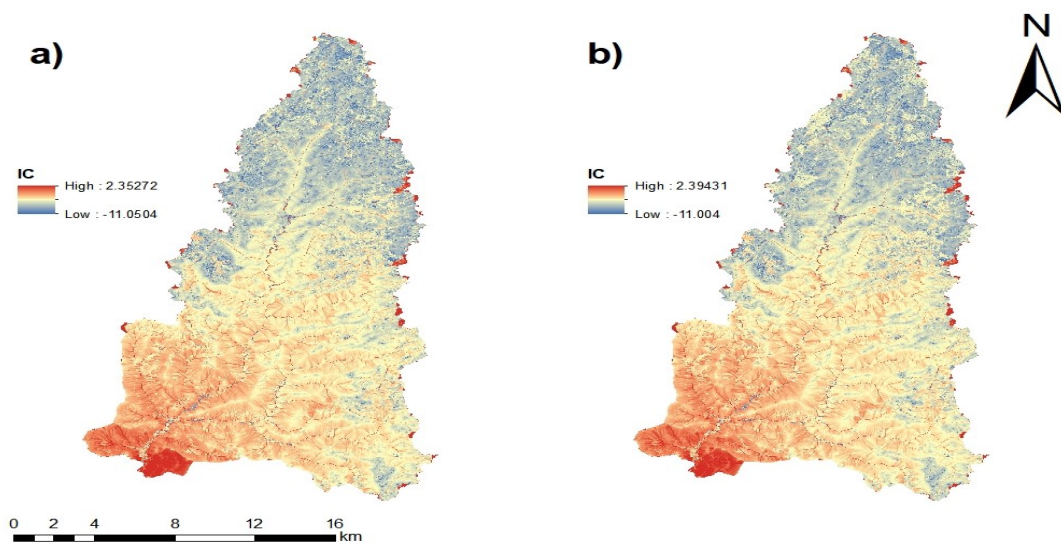
Embora se considere os movimentos de massa como um fenômeno de grande potencial de alteração da cobertura do solo. Quando se compara com resultados apresentados por Martini et al., (2019), no qual foi avaliado a alteração da cobertura do solo e a conectividade devido a uma erupção vulcânica, se percebe que o impacto dos movimentos de massa é muito pequeno frente as alterações de cobertura do solo, visto que em quanto no evento apresentado neste trabalho a floresta foi reduzida em aproximadamente 1%, no trabalho apresentado por Martini et al. (2019) a atividade vulcânica resultou em uma redução de 50% de floresta.

A respeito da estimativa da conectividade, essas pequenas alterações no solo consequentemente também provocaram poucas alterações no cálculo de impedância do transporte de sedimentos até o exutório, pré e pós a ocorrência dos escorregamentos.

## CONECTIVIDADE DE SEDIMENTOS

As regiões com maior conectividade são as mais próximas do exutório. Entretanto, destaca-se as regiões da parte central da bacia, na qual ocorreram os escorregamentos em janeiro de 2017, no qual apresentaram valores significativos de conectividade.

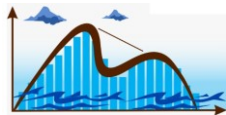
Figura 1 Distribuição espacial da conectividade antes e depois do evento



Avaliando a variação da conectividade devido a alteração dos escorregamentos na topografia e na cobertura do solo, observou-se que não se teve um grande aumento na conectividade em escala de bacia. Apenas regiões pontuais tiveram acréscimo nos valores de conectividade, subestimando a capacidade que tais eventos possuem na alteração da dinâmica de produção de sedimentos, seja na contribuição direta a partir da conectividade encosta-canal ou na formação de depósitos de sedimentos que serão mobilizados de acordo com futuros eventos meteorológicos. Esse último, não contabilizado pelo IC.

Acerca disso, consta-se que uma avaliação com foco nas condicionantes estruturais da conectividade, subestima o efeito que os movimentos de massa possuem acerca da dinâmica hidrossedimentológica. Especialmente pelo índice de conectividade não considerar as regiões de depósitos como regiões significativamente ativas, na qual certamente contribuirão consideravelmente com a produção de sedimento ao longo do tempo (KORUP et al., 2010). Ao mesmo tempo que, a vegetação possui significativa influência na contenção do transporte de sedimentos encosta/canal e, consequentemente, na conectividade (LLENA et al., 2019; ORTÍZ-RODRÍGUEZ et al., 2019). Mesmo que contabilizada a alteração que os escorregamentos tiveram na cobertura de floresta da bacia, a ação desses elementos na conectividade de sedimento foi consideravelmente subestimada.





## CONCLUSÕES

Embora exista alterações evidentes na cobertura do solo e na topografia, o cálculo da conectividade de sedimento a partir do IC, demonstra apenas um breve aumento da conectividade na bacia, isto é o índice demonstrou subestimar os efeitos dos movimentos de massa na conectividade de sedimentos.

Eventos de grande magnitude, como os movimentos de massa, são comumente negligenciados na análise da dinâmica de produção de sedimentos. No entanto, precisa-se de uma investigação mais abrangente acerca dos escorregamentos, procurando determinar o volume dos sedimentos mobilizados pelos movimentos de massa, a entrega de sedimentos aos canais e o transporte desses sedimentos até exutório. Ainda, poucos são os trabalhos que se esforçam em determinar a influência desses eventos na produção de sedimentos a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

- ACHARYA, G. (2009). "The influence of shallow landslides on sediment supply: A flume based investigation using sandy soil". *Engineering Geology*, v. 109, n. 3-4, pp.161-169.
- BATHURST J. C.; G. MORETTI; A. EL-HAMES; S. BEGUERA, J. M. GARCA-RUIZ. (2007). "Modelling the impact of forest loss on shallow landslide sediment yield, Ijuez river catchment, Spanish Pyrenees". *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union* pp.569-583.
- BORSELLI, L. CASSI, P.; TORRI, D. (2008). "Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a gis and field numerical assessment: A GIS and field numerical assessment". *Catena*, v. 75, n. 3, pp. 268-277.
- CAVALLI, M.; TREVISANI, S.; COMITI, F.; MARCHI, L. (2013). "Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments". *Geomorphology*, v. 188, pp. 31-41.
- KOBIYAMA, M. (2011) "Landslide influence on turbidity and total solids in Cubatão do Norte River, Santa Catarina, Brazil." *Natural Hazards*, v. 59, n. 2, pp.1077-1086.
- KORUP, O.; MCSAVENEY, M. J.; DAVIES, TIMOTHY, R.H; (2004). "Sediment generation and delivery from large historic landslides in the Southern Alps, New Zealand". *Geomorphology*, v. 61, n. 1-2, pp. 189-207.
- LLENA, M. (2019) "The effects of land use and topographic changes on sediment connectivity in mountain catchments". *Science Of The Total Environment*, v. 660, pp .899-912.
- MARTINI, L. (2019) "Sediment connectivity changes in an Andean catchment affected by volcanic eruption". *Science Of The Total Environment*, v. 692, p.1209-1222.
- MASSELINK, R. J. H.; KEESSTRA, S. D.; TEMME, A. J. A. M.; SEEGER, M.; GIMÉNEZ, R.; CASALÍ, J. (2016). "Modelling Discharge and Sediment Yield at Catchment Scale Using Connectivity Components". *Land Degradation & Development*, v. 27, n. 4, pp. 933-945
- ORTÍZ-RODRÍGUEZ, A. J.; MUÑOZ-ROBLES, C.; BORSELLI, L. (2019) "Changes in connectivity and hydrological efficiency following wildland fires in Sierra Madre Oriental, Mexico". *Science Of The Total Environment*, v. 655, pp.112-128.
- TSAI, Z. (2012). "Modeling the sediment yield from landslides in the Shihmen Reservoir watershed, Taiwan". *Earth Surface Processes And Landforms*, v. 38, n. 7, pp.661-674.
- VENTE, J.; POESEN, J. (2005). "Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models: Scale issues and semi-quantitative models". *Earth-science Reviews* v. 71, n. 1-2, pp. 95-125.
- VENTE, J.; POESEN, J.; ARABKHEDRI, M.; VERSTRAETEN, G. (2007). "The sediment delivery problem revisited. *Progress In Physical Geography*": *Earth and Environment*, v. 31, n. 2, pp. 155-178.
- ZANANDREA, F; MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M.; (2020) "Impedance influence on the index of sediment connectivity in a forested mountainous catchment". *Geomorphology*, v. 35197, pp.106962-106974.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Grupo de Desastres Naturais (GPDEN – IPH/UFRGS) pelo apoio e colaboração. Esta pesquisa teve apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).