



ANÁLISE COMPARATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS A PARTIR DE EVENTOS EXTREMOS E NÃO-EXTREMOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUNHA

*Mel Oliveira Guirro*¹; *Thawara Giovanna Souza da Fonseca Guidolin*² & *Gean Paulo Michel*³

ABSTRACT – The hydrosedimentological processes in a watershed involve different types of phenomena, since a chronic natural event, such as surface erosion, to an extreme event, such as mass movement. The temporal and spatial scales of these two phenomena are different, being the mass movement of greater magnitude, but of less frequent occurrence. The objective of this work is to comparatively analyze sediment generation through debris flow and sediment generation through surface erosion during a year of precipitation close to the average, without the occurrence of extreme events, in the Cunha river basin, municipality Rio dos Cedros, Santa Catarina State. For this, data were used from two debris flow that occurred in November 2008 and sediment measurement data on the outlet watershed during the period of one year between 2012 and 2013. It was found the debris flow generated sediment quantity of an order of magnitude greater when compared to the quantity generated through surface erosion during one year. It is concluded that in mountainous basins is conceivable that the mass movements are the most important phenomena to sediment generation.

Palavras-Chave – Hidrossedimentologia, Erosão Superficial, Fluxo de Detrito.

¹) UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre, mel.guirro@ufrgs.br, (51) 981001334

²) UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre, thawara.souza@ufrgs.br, (51) 991789741

³) UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre, gean.michel@ufrgs.br, (51) 33086414

1 - INTRODUÇÃO

Os processos hidrossedimentológicos em uma bacia hidrográfica envolvem diferentes tipos de fenômenos. Entre os fenômenos que geram sedimentos, podemos citar a erosão laminar, erosão nos sulcos, voçorocas, movimentos de massa, erosão do leito do rio, entre outros. A produção de sedimentos causa problemas, como a perda solo fértil para a agricultura, o assoreamento do leito dos rios, o aumento da incidência de inundações e o próprio desastre gerado pelo escorregamento.

Sidle *et al.* (2004) separam perigos em duas categorias: episódicos e crônicos. Perigos episódicos são de curto prazo, ocorrendo de forma menos frequente, mas com maior intensidade. Já os perigos crônicos são de longo prazo, ocorrendo de forma mais amena, mas constante. Portanto, as escalas temporais e espaciais desses perigos são diferentes. Os fluxos de detrito gerados por escorregamentos, por exemplo, transportam um volume de sedimentos muito maior em um tempo menor do que a erosão superficial, embora esse fenômeno tenha uma ocorrência muito menos frequente.

O entendimento da dinâmica dos sedimentos é essencial para o planejamento do uso do solo e para a gestão sustentável de bacias hidrográficas. Em geral, os modelos matemáticos não fornecem uma análise ampla de todas as fases do ciclo hidrossedimentológico, focando principalmente na erosão superficial e negligenciando outros processos de transporte de sedimentos. Exemplos desses modelos são RUSLE (RENARD *et al.*, 1991), MUSLE (WILLIAMS, 1975), SWAT (desenvolvido por USDA-ARS) E WEPP (LANE & NEARING, 1989).

Ainda há uma dificuldade em entender e prever a dinâmica de sedimentos, especialmente em bacias declivosas, onde há mais movimentos de massa (BURTON e BATHURST, 1998). Além disso, Kobiyama *et al.* (2011) descreveram como escorregamentos aumentaram significativamente e pontualmente o transporte de sedimentos em rios, sem o aumento da vazão.

O objetivo do presente trabalho é realizar uma análise comparativa da quantidade de sedimentos gerada a partir de um evento episódico extremo, como escorregamentos seguidos de fluxos de detritos, com a erosão hídrica diária crônica. Para isso, foi utilizado o estudo de caso da bacia hidrográfica montanhosa do Rio Cunha, localizada no município Rio dos Cedros, Santa Catarina.

Em novembro de 2008, ocorreram diversos escorregamentos seguidos de fluxos de detritos nesta bacia. O município Rio dos Cedros decretou calamidade pública, com 96 pessoas desabrigadas e 8561 pessoas diretamente afetadas por esses eventos. O prejuízo econômico total foi de R\$ 4.121.940,00, afetando a agricultura, a pecuária, indústrias e serviços básicos (GOERL *et al.*, 2009). A partir deste evento, esta bacia foi utilizada como área de pesquisa.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho é a bacia hidrográfica do Rio Cunha, no município Rio dos Cedros, Santa Catarina. A bacia possui área de drenagem de aproximadamente 16,3 km², coberta em grande parte por mata nativa, além de áreas de pastagem e algumas porções com reflorestamento. Segundo IBGE (2010), no município residem cerca de 10.284 pessoas. Considerando o número estimado de pessoas diretamente afetadas pelos eventos extremos ocorridos no ano de 2008 (GOERL *et al.*, 2009), mais de 83% dos residentes no município sofreram algum prejuízo econômico decorrido do fluxo de detritos que ocorreu na região.

Segundo Michel *et al.* (2015), a altitude na bacia do Rio Cunha varia de 90 a aproximadamente 860 m, contando com regiões planas e encostas íngremes. A Figura 1 apresenta a localização da bacia hidrográfica, além da altimetria da região de estudo e a cicatrizes dos dois fluxos de detrito, e a Figura 2 uma fotografia do rio principal da área de estudo.

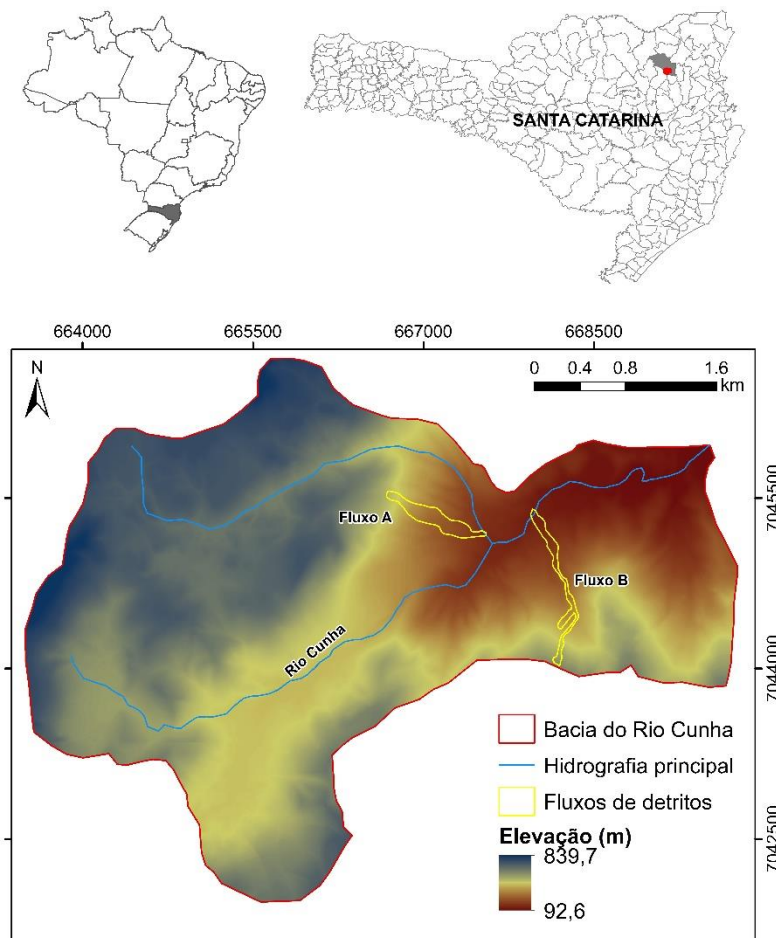


Figura 1. Localização geográfica e altimetria da bacia do Rio Cunha com as cicatrizes dos fluxos de detritos (fonte: autoria própria).

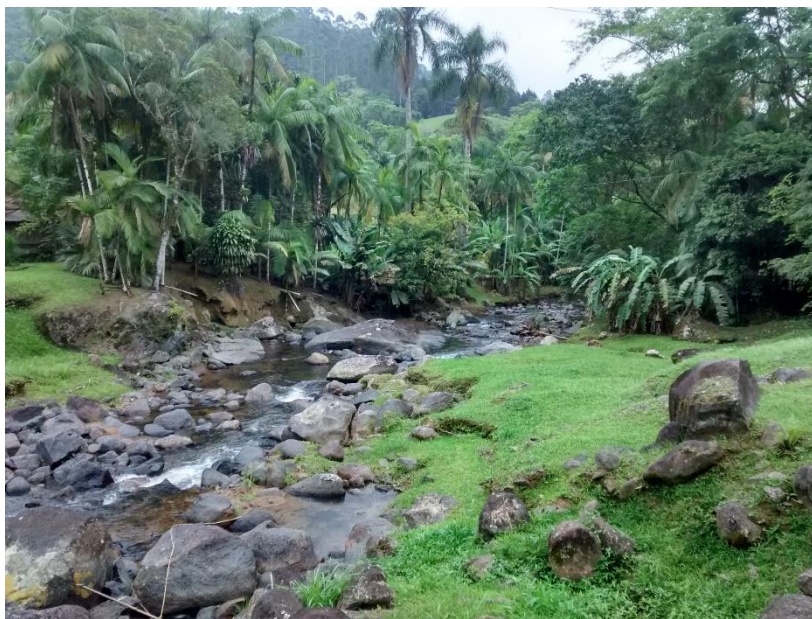


Figura 2. Rio Cunha, principal manancial da bacia hidrográfica de estudo (fonte: autoria própria).

A precipitação média da região é de 1651 mm/ano (KOBAYAMA *et al.*, 2010). No ano de 2008 observou-se a ocorrência de mais de 2500 mm de precipitação em Rio dos Cedros, sendo 748 mm apenas no mês de novembro, o que segundo Rocha (2011), configura um evento com tempo de recorrência em torno de mil anos. A precipitação total que deflagrou os escorregamentos foi de 1042,55 mm em 68 dias, representando aproximadamente 2/3 da precipitação média anual para a região (MICHEL *et al.*, 2015).

2.2 - Análise Comparativa de Sedimentos

Comparou-se a massa de sedimentos gerada pelos escorregamentos ocorridos em 2008 com a produção de sedimentos da bacia no período de um ano (10/07/2012 a 09/07/2013), corrigida por um fator estabelecido a partir da *Sediment Delivery Ratio (SDR)*.

2.2.1 - Sedimentos gerados por fluxo de detritos

Rocha (2011) estimou o volume total de solo erodido em dois fluxos de detrito que ocorreram em 2008, sendo 160.263 m³ para um fluxo de detrito e 131.441 m³ para o outro. Foi determinada a massa de sedimentos gerada pelos fluxos de detrito com a relação entre volume e massa, conforme a Equação 1.

$$m_s = V \cdot \rho_s \quad (1)$$

onde m_s é a massa de sedimentos (kg); V é o volume de sedimentos (m³); e ρ_s é a massa específica do solo úmido (kg/m³).

A massa específica do solo úmido usada na Equação 1 foi retirada de Michel *et al.* (2015), em que foram realizados ensaios de massa específica do solo úmido em 16 pontos amostrais da bacia

hidrográfica do Rio Cunha. A densidade média do solo da bacia foi calculada a partir desses pontos e o valor obtido foi de 1752 kg/m³.

2.2.2 - Sedimentos gerados por eventos não extremos

Para esta análise, foi utilizada a massa de sedimentos gerada na bacia por erosão hídrica ao longo de um ano sem ocorrência de eventos extremos. Para isso, foram utilizados os dados das estações fluviométrica e sedimentométrica com coleta automática de dados de nível e de turbidez a cada 10 minutos, com dados disponíveis de 18/01/2012 a 09/07/2013. Além disso, utilizou-se um valor de *SDR*, determinado a partir da área da bacia, estimado segundo Walling (1983), para transformar o sedimento produzido em um valor total de sedimento gerado. O valor estimado para a *SDR*, considerando a área da bacia, foi de aproximadamente 20%. Goerl (2014) definiu a curva de sedimentos, que relaciona a turbidez medida pelo sensor com medições de sólidos suspensos. Assim, foram utilizados os dados de vazão líquida e de concentração de sólidos suspensos para definir a massa de sedimento gerado ao longo do ano, conforme a Equação 2.

$$m_s = \frac{\sum_{i=1}^t (SS_i \cdot Q_i \cdot \Delta t)}{SDR} \quad (2)$$

onde m_s é a massa de sedimento gerada ao longo do ano; SS_i é a concentração de sólidos suspensos no tempo i (kg/m³); Q_i é a vazão no exutório no tempo i (m³/s); e Δt é a resolução temporal dos dados; t é o número de dados ao longo do ano.

Para o cálculo da massa anual de sedimentos gerados foi selecionado o período de 10/07/2012 a 09/07/2013. Este período foi escolhido por apresentar menor número de falhas, embora os dados não tenham sido consistentes.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa calculada de sedimento gerada pelos dois fluxos de detritos de 2008 foi de 511.057 toneladas, enquanto que a quantidade de sedimentos produzida no exutório da bacia no período anual de 10/07/2012 a 09/07/2013 foi de 1.826 toneladas, levando a uma geração total de sedimentos por erosão hídrica superficial de aproximadamente 9.130 toneladas. Sendo assim, os sedimentos gerados por erosão superficial ao longo de um ano representam cerca de 1,8% dos sedimentos gerados por dois fluxos de detritos. Em outras palavras, seriam necessários aproximadamente 55 anos de erosão superficial para gerar a mesma quantidade de sedimentos que dois eventos de fluxos de detritos geraram na bacia. Percebe-se que a ordem de magnitude da quantidade de sedimento gerada pelos dois tipos de processos hidrossedimentológicos é bastante diferente.

Apesar de a ocorrência do movimento de massa ser equivalente a 55 anos de erosão superficial, ressalta-se que eventos de chuva capazes de desencadear movimentos de massa são extremos e raros. No caso estudado, o tempo de retorno da chuva que deflagrou os fluxos de detritos é cerca de mil anos (ROCHA, 2011). Contudo, deve-se atentar para o fato de que a chuva é apenas o elemento deflagrador (fator extrínseco) do movimento de massa. O movimento, em si, é composto por solo, água, rochas e árvores, entre outras coisas (fatores intrínsecos), dependendo do local de ocorrência. Desta maneira, o tempo de recorrência de um movimento de massa não é facilmente relacionado ao tempo de retorno da chuva que o deflagrou, havendo maior dependência dos fatores intrínsecos.

O ano analisado para o aporte de sedimentos em que não ocorreu eventos extremos teve precipitação de 1474 mm. Ressalta-se que foi um ano ligeiramente seco, em que choveu aproximadamente 89% da precipitação média, a qual é 1651 mm/ano (KOBAYAMA *et al.*, 2010). Sendo assim, esse valor de produção de sedimentos pode estar levemente subestimado em relação a média.

Em contrapartida, o ano utilizado é posterior a ocorrência dos escorregamentos de 2008 e, assim, existe a possibilidade de que os sedimentos mobilizados pelos fluxos de detritos tenham influenciado em termos de aumentar a produção de sedimentos na bacia em relação a uma condição média anual.

Nota-se que a geração de sedimentos causada pelo fluxo de detrito é de grande importância na bacia do Rio Cunha. Evidentemente, movimentos de massa são mais frequentes em regiões montanhosas. Nesta bacia, há diversas rochas grandes e anguladas depositadas próximas aos canais (Figura 2). Indicando que a ocorrência de movimentos de massa é frequente e que estes movimentos de massa exibem grande conectividade com a rede de drenagem, contribuindo significativamente ao aumento da produção de sedimentos.

Assim, há uma relação entre a ocorrência de eventos extremos e não extremos. Os movimentos de massa intensificam a erosão superficial, já que, podem introduzir vastas áreas de solo exposto na bacia em regiões de alta declividade e convergência de escoamento. Além disso, os sedimentos que se depositam no decorrer de um evento de fluxo de detritos, precisam de menos energia para serem remobilizados e voltar a serem transportados. Ou seja, os movimentos de massa facilitam que novos sedimentos sejam erodidos em eventos de chuva subsequentes. Dessa forma, se não houvesse a ocorrência de movimentos de massa na bacia, provavelmente a erosão superficial seria ainda menor.

Por fim, a erosão superficial também pode contribuir para ocorrência de desastres extremos a longo prazo, como inundações a jusante, por exemplo. Portanto, não se deve negligenciar o impacto de fenômenos de baixa magnitude e alta frequência. Tanto estes quanto os fenômenos de alta magnitude e baixa frequência são fenômenos importantes na dinâmica

hidrossedimentológica das bacias hidrográficas e os modelos computacionais precisam avançar para abordar ambos os tipos de fenômenos para uma análise adequada seja conduzida.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a comparação da massa de sedimentos gerada por fluxos de detrito e por erosão hídrica superficial ao longo de um ano, constatou-se que os fluxos de detritos produziram uma grande quantidade de sedimentos, em uma ordem de magnitude maior, sendo necessário aproximadamente 55 anos de chuvas ordinárias não-extremas para alcançar o valor de sedimentos gerado em um único evento deflagrador de fluxo de detritos.

O estudo de caso da bacia do Rio Cunha serviu para demonstrar a importância dos eventos extremos na dinâmica hidrossedimentológica de bacias hidrográficas. Entretanto, compreende-se que se trata de um estudo de caso e que os processos hidrossedimentológicos são altamente variáveis e que os resultados encontrados não podem ser generalizados para qualquer localidade.

Conclui-se que, em bacias montanhosas, é concebível que o fenômeno de maior importância na produção de sedimentos seja os movimentos de massa. A análise da dinâmica hidrossedimentológica de bacias montanhosas deve estimar tanto fenômenos extremos, como os movimentos de massa, quanto fenômenos frequentes, como a erosão superficial, principalmente por haver uma associação entre eles. Novas metodologia, concretizadas em modelos computacionais, devem surgir para suprir esta demanda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURTON, A.; BATHURST, J. C. Physically based modelling of shallow landslide sediment yield at a catchment scale. *Environmental Geology*, Newcastle. v. 35, n. 2-3, p. 89-99, 1998.
- GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M.; LOURENÇO, L.L.; GRANDO, A. Características gerais dos escorregamentos ocorridos em novembro de 2008 nos municípios de Brusque, Rio dos Cedros e Timbó – SC. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (2009: Viçosa) Viçosa: UFV, Anais. CD-rom. 2009b, 16p.
- GOERL, R.F. Evolução da paisagem e conectividade hidrogeomorfológica na bacia do rio Cunha.- SC. 2014. 142 f. Tese (Doutorado). - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Curitiba, 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico, 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em 21 de maio de 2018, às 21h20min.
- KOBAYAMA, M.; GOERL, R.F.; CORRÊA, G.P.; MICHEL, G.P. (2010) Debris flow occurrences in Rio dos Cedros, Southern Brazil: meteorological and geomorphic aspects. In: De Wraichen, D.; Brebbia,

C.A. (Eds.) Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense Debris Flows III. pp.77-88.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A.A.; GRISON, F.; GIGLIO, J.N. Landslide influence on turbidity and total solids in Cubatão do Norte River, Santa Catarina, Brazil. *Natural Hazards*, v.59, n.2, p.1077-1086, 2011.

LANE, L.J. & NEARING, M.A. USDA – Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentation. Indiana: NSERL. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 1989. Report no. 2

MICHEL, G. P. Modelagem de estabilidade de encostas com consideração do efeito da vegetação. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

MICHEL, G. P.; GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M. Critical rainfall to trigger landslides in Cunha River basin, southern Brazil. *Natural Hazards*, v.75, n.3, p 2369-2384, 2015.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; PORTER, J.P. RUSLE: Revised Universal Soil Loss. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.46, n.1, p 30-33. 1991.

ROCHA, H. L. Aplicação do modelo FLO-2D para simulação de fluxo de detritos na bacia do rio Cunha, Rio dos Cedros/SC. Dissertação de Mestrado. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

SIDLE, R.C.; TAYLOR, D.; LU, X.X.; ADGERD, W.N.; LOWEE, D.J.; LANGE, W.P.; NEWNHAM, R.M.; DODSON, J.R. Interactions of natural hazards and society in Austral-Asia: evidence in past and recent records. *Quaternary International*, v.118–119, p.181–203, 2004.

WALLING, D.E. The Sediment Delivery Problem. *Journal of Hydrology*, v.65, p 209-237, 1983.

WILLIAMS, J.R. Sediment-yield Prediction with Universal Equation Using Runoff Energy Factor. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources. Publication ARS-S-40. US Department of Agriculture: Washington, DC. 1975.