

Análise geométrica para estimativa de volume em fluxo de detritos

Gabriela Pacheco Corrêa¹

Masato Kobiyama²

Joana Nery Giglio³

Gean Paulo Michel⁴

Fabiane Andressa Tasca⁵

Roberto Fabris Goertl⁶

Resumo

O município de Rio dos Cedros/SC sofreu severos danos com fluxos de detritos decorrentes das chuvas de 2008. Assim, fica evidente a necessidade de reduzir futuros prejuízos associados a esses desastres. Este trabalho verificou, a partir de características topográficas, relações geométricas para a estimativa do volume de massa escorrida em um fluxo de detritos em Rio dos Cedros. Realizou-se levantamento topográfico da área atingida e calcularam-se parâmetros geométricos e volume das massas deslizadas. As massas de maior volume tiveram menor alcance, em consequência da topografia. Os volumes calculados foram comparados com os obtidos a partir de equações empíricas da literatura. Como características topográficas são facilmente mensuráveis comparadas às reológicas e desencadeadoras fica demonstrada a necessidade do desenvolvimento de fórmulas que relacionam os parâmetros topográficos com os diversos aspectos dos fluxos de detritos. Assim, este tipo de estudo poderá contribuir à elaboração de mapeamentos de perigo e à prevenção de desastres.

Palavras-chave: fluxo de detritos; estimativa de volume; levantamento topográfico; Rio dos Cedros.

¹ Bolsista do CNPq, Acadêmica do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina

² Bolsista do CNPq, Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina

³ Bolsista do CNPq, Acadêmica do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina

⁴ Bolsista do CNPq, Acadêmica do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina

⁵ Bolsista do CNPq, Acadêmica do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina

⁶ Bolsista do CNPq, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina

Abstract

In November 2008 Rio dos Cedros city, Santa Catarina state, Brazil, suffered with debris flows triggered by rainfall that caused many damages affecting agriculture, livestock, industry and population. To prevent future damages is necessary work in structural and not structural measures. These measures require hazard mapping which in turn demands knowledge of topographical and geometrical tools. This paper aims to verify by topographical features geometrical relationships to estimate the runoff volume of debris flows and compared with empirical equations. The studied area has two initial focus with different volumes, elevation and travel distance. The initiation area with smaller reach angle show greater value of volume. Since topographical features are easily measurable compared with the rheological and triggering ones, the necessity to develop equations relating topographic features and different aspects of debris flow is demonstrated. Therefore, this kind of study can contribute to the hazard mapping and disaster prevention.

Key-words: *debris flow; volume estimate; topographic survey; Rio dos Cedros.*

Introdução

O fluxo de detritos é um movimento de massa rápido, violento, contínuo e fluido constituído por sedimentos e água. Impulsionados pela gravidade o movimento oferece grande potencial de danos às regiões às quais o mesmo alcança (Rickenmann,1999). No Brasil, esse tipo de escorregamento está associado à concentração excessiva dos fluxos de água superficiais, provenientes das chuvas. A água deflagra um ponto da encosta, de forma que a sobrecarga de solo e água é suficiente para ocasionar a ruptura do solo ou ruptura da barragem natural que suportava o sobrepeso (Marcelino, 2003). Os fluxos de detritos também podem iniciar-se sob a forma de um escorregamento que, ao atingir um curso d'água, a massa deslizada agrega fluidez e velocidade, comportando-se como um fluxo (Marcelino, 2003).

Através da análise topográfica de 71 fluxos de detritos registrados em diversos países Corominas (1996) elaborou uma equação que relaciona os parâmetros geométricos de volume (V) com a elevação (H) e a distância horizontal (L) do escorregamento. Rickenmann (1999)



elaborou a mesma relação a partir dos dados de 140 fluxos de detritos e 51 avalanches registrados nos Alpes Suíços.

O estado de Santa Catarina sofreu com chuvas intensas no segundo semestre de 2008 e início de 2009, que provocaram diversos desastres hidrológicos no estado (Giglio e Kobiyama, 2009). Na região do município de Rio dos Cedros/SC, a chuva anual de 2008 foi 58% maior que a média dos anos 1948-2000 (Goerl, Kobiyama, Corrêa, Rocha & Giglio, 2009). Este município está situado no Médio Vale do Itajaí, na latitude 26°44'13"S e longitude 49°46'27"O, com altitude entre 75 e 1050 m. Possui uma área de 556 km², sendo 18 km² de área urbana, nas altitudes mais baixas do município. A temperatura média é de 22 °C e a precipitação média anual é de 1800 mm.

Em decorrência das chuvas intensas de 2008, o município sofreu inundações e movimentos de massa, principalmente fluxos de detritos. Analisando os formulários de Avaliação de Danos (AVADAN) preenchidos pela Defesa Civil de Rio dos Cedros, Goerl e cols. (2009) relataram que os desastres desabrigaram 96 pessoas e 8561 pessoas foram diretamente afetadas por esta tragédia; os prejuízos econômicos chegaram a R\$ 4.121.940,00, sendo R\$ 2.674.740,00 na agricultura, R\$ 588.800,00 na pecuária, R\$ 78.000,00 na indústria e R\$ 781.000,00 nos serviços básicos.

Diante desse quadro fica evidente a necessidade de reduzir os futuros prejuízos associados aos fluxos de detritos através de medidas estruturais e não estruturais. O mapeamento de perigo é de extrema relevância para auxiliar a elaboração dessas medidas. Para este mapeamento, o conhecimento da geometria da região de ocorrência de fluxo de detrito é fundamental. Isto justifica fortemente a importância do levantamento topográfico do local do evento a fim de obter as relações entre os parâmetros geométricos do escorregamento. Um dos elementos geométricos de grande valor na análise é o volume do fluxo de detritos, pois através dele é possível determinar outros parâmetros como descarga de pico, velocidade frontal do movimento, secção do fluxo, distância horizontal (*travel distance*) e o alcance da deposição (*runout*) (Rickenmann, 1999). Parâmetros esses, que melhoram a qualidade dos mapas de perigo gerados e, portanto, ajudam na elaboração das medidas tomadas.

Objetivo

O objetivo do presente trabalho foi verificar, através das características topográficas coletadas em campo, a relação geométrica de Corominas (1996) e de Rickenmann (1999) para a estimativa do volume de massa escorrida do tipo fluxo de detritos (*debris flow*), que ocorreu no município de Rio dos Cedros no mês de novembro de 2008.

Metodologia

Realizou-se levantamento topográfico da área atingida, incluindo a área de início, o canal e a área de deposição, com estação total e GPS de precisão, durante o mês de setembro de 2009. Este levantamento foi realizado cerca de dez meses após a ocorrência do fluxo de detritos, porque foi necessário esperar que as chuvas cessassem para iniciar o trabalho *in loco* com segurança.

A partir dos dados topográficos coletados, com uso do *software* ArcGIS, foram calculadas a distância horizontal do percurso do movimento de massa (L), a elevação referente ao ponto inicial e final do fluxo (H), o ângulo de declividade (β), sendo que $\tan\beta = H/L$, além de demarcadas e calculadas as áreas de início e deposição.

Durante as observações de campo, notou-se que o escorregamento possui dois pontos iniciais de diferentes dimensões (um mais a montante, chamado de *escorregamento1* e outro mais a jusante, chamado de *escorregamento2*) e que há uma mescla entre a zona de transporte e a zona de deposição do fluxo de detrito. Essa mescla dificultou a delimitação da área de deposição, que foi dividida em trechos a partir da declividade do terreno e das observações de campo.

Primeiramente foram delimitadas as áreas iniciais do escorregamento (A_i) em planta, calculadas as alturas das massas que cederam (h_i) a partir da subtração das cotas registradas pelo GPS nos pontos iniciais (diferença de nível entre a curva de nível original do terreno – H_{CN} – e a base das áreas iniciais do deslizamento – Hb_i), além das distâncias horizontais máximas dessas áreas (L_i). Com isso, foram calculados os valores de A_i e h_i inclinados (Ad_i e hd_i) de ambas as áreas de início. Por fim, através do princípio do balanço de massa, foi estimado o volume de massa escorrida (V_{TOTAL}) a partir da soma dos volumes de massa que

cederam (V_i). Os volumes das áreas de início seguem a forma semi-elipsóidica, que é a relação geométrica que mais se aproxima ao ocorrido.

$$V_{TOTAL} = \frac{\left(\frac{4}{3}\pi \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot c_1\right)}{2} + \frac{\left(\frac{4}{3}\pi \cdot a_2 \cdot b_2 \cdot c_2\right)}{2} \quad (1)$$

onde V_{TOTAL} é o volume resultante da soma dos volumes de massas que cederam em cada deslizamento (V_1+V_2); a_i é o número real positivo que representa a dimensão X do elipsóide; b_i é o número real positivo que representa a dimensão Y do elipsóide; e c_i é o número real positivo que representa a dimensão Z do elipsóide.

Assim, o valor do volume calculado foi verificado a partir das equações propostas por Corominas (1996) representada por V_C , e Rickenmann (1999) representada por V_R :

$$V_C = \left(\frac{L}{H \cdot 1,03}\right)^{\left(\frac{1}{0,105}\right)} \quad (2)$$

$$V_R = \left(\frac{L}{H^{0,88} \cdot 1,9}\right)^{\left(\frac{1}{0,16}\right)} \quad (3)$$

onde H é a elevação entre o ponto inicial e o ponto final do deslizamento em metro; L é a distância horizontal do percurso em metro; V é o volume em metros cúbicos.

Como o fluxo de detritos de estudo ocorreu com duas áreas de início, a aplicação das fórmulas foi feita para cada contribuição, com seus respectivos valores de L e H , ou seja:

$$V_C = \left(\frac{L_1}{H_1 \cdot 1,03}\right)^{\left(\frac{1}{0,105}\right)} + \left(\frac{L_2}{H_2 \cdot 1,03}\right)^{\left(\frac{1}{0,105}\right)} \quad (2.1)$$

$$V_R = \left(\frac{L_1}{H_1^{0,88} \cdot 1,9}\right)^{\left(\frac{1}{0,16}\right)} + \left(\frac{L_2}{H_2^{0,88} \cdot 1,9}\right)^{\left(\frac{1}{0,16}\right)} \quad (3.1)$$

Os valores encontrados pelas equações foram então comparados ao valor calculado pela topografia.

Resultados e discussão

Através do gráfico de Rickenmann (2005) (Figura 2) que relaciona a declividade ($\tan\beta=H/L$) com o volume do escorregamento, foi possível identificar os intervalos de volume para as declividades de ambas as contribuições, e verificar que os volumes calculados pelas equações se enquadram nos intervalos. Sendo assim, foram utilizadas as equações de Rickenmann (1999) e Corominas (1996).

O *escorregamento1* apresenta um valor de $\tan\beta$ igual a 0,343, e o *escorregamento2* apresenta um valor de $\tan\beta$ igual a 0,230.

$$\text{escorregamento1: } \tan\beta = 0,343 \quad 300 \text{ m}^3 < V < 1.000.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Corominas (1996): } V_1 = 19.952,92 \text{ m}^3$$

$$\text{Rickenmann (1999): } V_1 = 7.458,11 \text{ m}^3$$

$$\text{escorregamento2: } \tan\beta = 0,230 \quad 900 \text{ m}^3 < V < 1.000.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Corominas (1996): } V_2 = 935.236,77 \text{ m}^3$$

$$\text{Rickenmann (1999): } V_2 = 35.521,16 \text{ m}^3$$

Corominas (1996) concluiu que essa variação de volume para um mesmo valor de $\tan\beta$ representa que pequenos fluxos podem resultar em valores de L iguais a grandes fluxos em virtude da topografia peculiar e de possíveis obstáculos existentes no percurso de cada *escorregamento*. Através da Figura 2 pode-se verificar essa relação.

O valor de $\tan\beta_1 > \tan\beta_2$ denota que mesmo o *escorregamento1* tendo valores de H (357,40m) e L (1041,10m) maiores que os valores do *escorregamento2*, que apresenta H igual a 146,18m e L igual a 636,34m, os volumes cálculos mostram que $V_1 < V_2$ para equações de ambos autores. Esse comportamento pode ser explicado geometricamente observando-se a Figura 1. Valores de H elevados são capazes de proporcionar valores de L elevados mesmo com volumes menores, pois quanto maior o valor de H mais o *escorregamento* agrega energia cinética capaz de ultrapassar os obstáculos e desníveis topográficos do percurso. E para valores de H reduzidos é possível encontrar valores de L elevados desde que se tenha grandes volumes capazes de agregar energia cinética ao movimento.

Através da Eq. (2.1) o volume calculado foi de $935.236,77 \text{ m}^3$ e através da Eq. (3.1) foi de $42.979,26 \text{ m}^3$. Essa grande diferença entre as equações evidencia a peculiaridades dos dados de análise e a dificuldade de se estimar uma relação única para o estudo de fluxos de detritos, justamente por esse tipo de movimento de massa possuir particularidades na associação dos parâmetros reológicos, desencadeantes e topográficos que variam de *escorregamento* para *escorregamento*. Entretanto, a partir da Eq. (1) foi calculado um volume de $49.527,98 \text{ m}^3$. Esse resultado apoia no caso do presente trabalho o uso da equação de Rickenmann, pois os resultados obtidos com as equações (1) e (3.1) apresentam que a percentagem de erro relativo é apenas 13,2%.

Considerações finais

Através do levantamento topográfico no local de ocorrência de fluxo de detritos foi possível verificar a importância dos parâmetros geométricos para a análise do volume da massa escorrida. Como tais parâmetros são facilmente mensuráveis comparados aos parâmetros reológicos e desencadeadores que necessitam de estudos mais profundos, inclusive monitoramento, fica demonstrada a necessidade do desenvolvimento de fórmulas que relacionam os parâmetros topográficos com os diversos aspectos dos fluxos de detritos. Assim, este tipo de estudo poderá contribuir à elaboração de mapeamentos de perigo e à prevenção de desastres.

Referências

- Corominas, J. (1996). The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. *Canadian Geotechnical Journal*, 33, 260-271.
- Giglio, J.N. & Kobiyama, M. (2009). Desastres relacionados a água e sedimento em Santa Catarina: desafio da Engenharia Ambiental. [Resumo] Em *Anais, I Congresso de Iniciação Científica e Extensão da Engenharia Ambiental*. Viçosa: UFV.
- Goerl, R.F., Kobiyama, M., Corrêa, G. P., Rocha, H.L. & Giglio, J.N. (2009). Desastre hidrológico resultante das chuvas intensas em Rio dos Cedros – SC. Em *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Campo Grande: ABRH.
- Marcelino, E.V. (2003). Mapeamento de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos no Município de Caraguatatuba (SP) Usando Técnicas de Sensoriamento Remoto, *Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto*, INPE, São José dos Campos, 2004.
- Rickenmann, D. (2005). Runout Prediction Methods. Em Jakob, M. & Hungr, O. (eds.) *Debris-flow Hazards and Related Phenomena* (pp.305-324). Berlin: Springer.
- Rickenmann, D. (1999). Empirical Relationship for Debris Flows. *Natural Hazard* 19: 44-77.
- Rocha, H.L., Kobiyama, M. & da Silva, C.G. (2009). Análise estatística de chuvas intensas ocorridas nos municípios de Blumenau e Rio dos Cedros, SC, no período de agosto de 2008 a



V Seminário Internacional de Defesa Civil - DEFENCIL

São Paulo – 18, 19 e 20 de Novembro de 2009

ANAIS ELETRÔNICOS - ARTIGOS

janeiro de 2009. Em *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Campo Grande: ABRH.

Figura 1 *Mapa de Localização do Escorregamento*

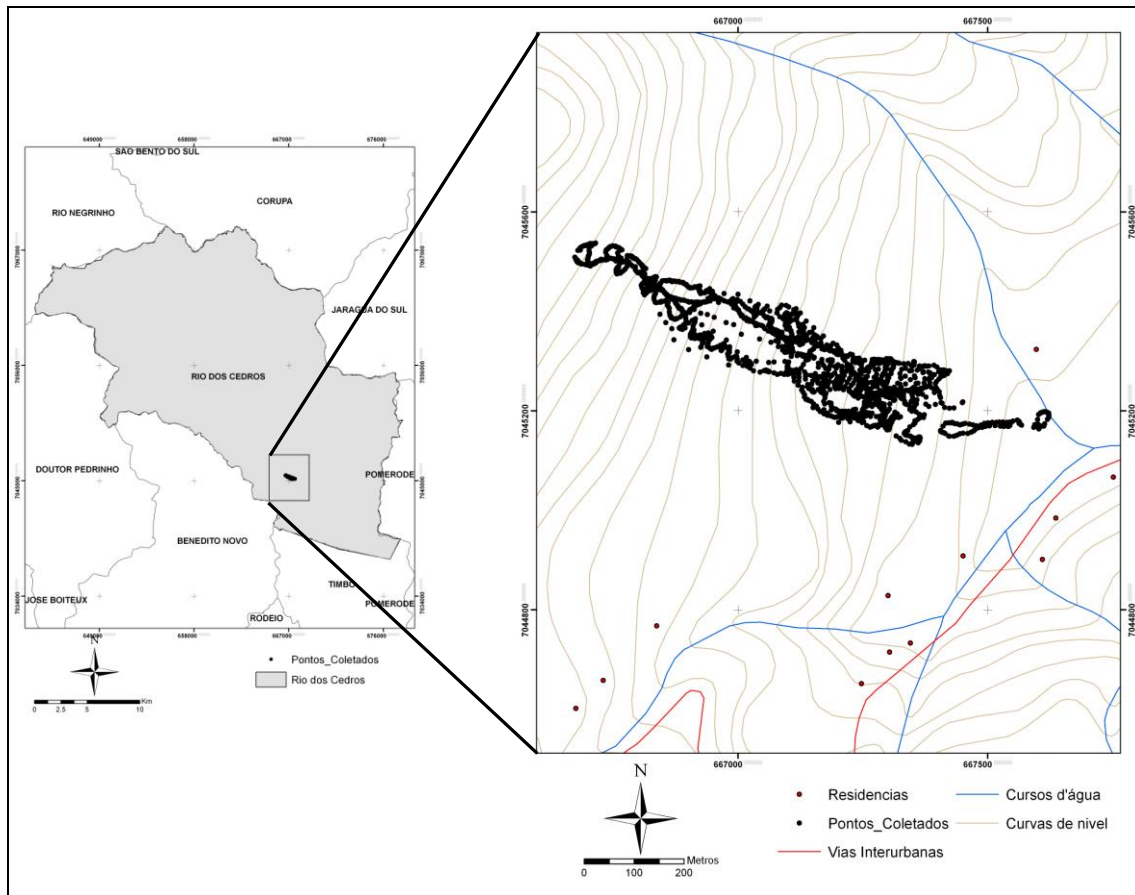


Figura 2 *Gráfico Declividade ($\tan\beta=H/L$) x Volume do Escorregamento (Rickenmann, 2005)*

