

# ANÁLISE DAS VARIÁVEIS TOPOGRÁFICAS RELACIONADAS AOS MOVIMENTOS DE MASSA OCORRIDOS NO ALTO VALE DA BACIA DO RIBEIRÃO DO BAÚ NO DESASTRE DE NOVEMBRO DE 2008, MUNICÍPIO DE ILHOTA/SC

*J. Gerente<sup>1</sup>, G. M. P. Bini<sup>2</sup>, P. Negrão<sup>1</sup>, B. H. Miguel<sup>1</sup>, E. G. dos Santos<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

*Comissão IV - Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens*

## RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise das cicatrizes de movimentos de massa deflagrados em novembro de 2008 na bacia do Ribeirão do Baú (SC) em relação às variáveis topográficas declividade e forma de vertente. Como resultados foram mapeadas 44 cicatrizes. A área média das cicatrizes mapeadas foi de 9,4 m<sup>2</sup>, sendo a área máxima correspondente a 42,5 m<sup>2</sup> e a mínima a 534 m<sup>2</sup>. A soma das áreas de todas as cicatrizes correspondeu a cerca de 5% do território da bacia em análise. A partir dos resultados obtidos foi possível conhecer as características topográficas em que mais ocorreram movimentos de massa. Percebe-se que mais de 50% dos movimentos de massa foram deflagrados em ambientes com declividade superior a 25° e com forma divergente. Tal conhecimento pode servir de base para elaboração de zoneamentos territoriais e de mapeamentos de suscetibilidade a movimentos de massa. Além disso, a análise dos atributos topográficos é bom indicador para o entendimento preliminar da dinâmica dos processos e ambientes que envolvem a deflagração de movimentos de massa.

**Palavras chave:** Cicatrizes de Movimentos de Massa, Variáveis Geomorfométricas, Suscetibilidade.

## ABSTRACT

This paper presents an analysis of topographic variables (slope and terrain form) of sites where occurred mass movements. As a study case, we analyze the mass movements triggered in a natural disaster occurred in November 2008 in Ribeirão do Baú Basin, in Santa Catarina State - Brazil. In total, 44 mass movement scars were mapped by visual interpretation. The scars mean area was 9.4 m<sup>2</sup>, with a maximum area of 42.5 m<sup>2</sup> and a minimum area of 534 m<sup>2</sup>. The sum of all scars areas corresponded to about 5% of the territory of the basin. From the analysis it was possible to identify the topographic characteristics in which most mass movements occurred. More than 50% of the mass movements were triggered in environments with a slope greater than 25° and with a divergent terrain form. Such knowledge can support the elaboration of territorial zoning and mass movements susceptibility mapping. In addition, the analysis of topographic attributes is a good indicator for the preliminary understanding of processes dynamics and the environments that involve mass movements deflagration.

**Keywords:** Mass movements scars, geomorfometric variables, susceptibility.

### 1- INTRODUÇÃO

Movimentos de massa caracterizam-se basicamente pela transferência de materiais do manto de alteração encosta abaixo devido a atuação da força gravitacional (Crozier, 1986). Quando deflagrados em locais habitados eles podem gerar muitas perdas e danos à sociedade.

No Brasil, estes fenômenos estão frequentemente relacionados a episódios de chuva intensa e/ou duradouras. Em novembro de 2008,

devido as chuvas continuadas durante os meses de setembro, outubro e novembro, somado às chuvas extremas dos dias 22 e 23 de novembro (250mm/dia em dois dias), a região do vale do Rio Itajaí-Açu, em Santa Catarina, sofreu graves prejuízos em razão de diversas ocorrências de movimentos de massa, inundações e fluxos torrenciais.

Além das perdas e danos materiais como edificações e vias urbanas danificadas ou destruídas, foram também registrados vários feridos e vítimas

fatais decorrentes de soterramentos causados pelos movimentos de massa. O maior número de óbitos foi registrado na cidade de Ilhota que segundo Sevegnani (2009) contabilizou 41 mortes.

No Brasil, desde 1927 há registros de mortes causadas por desastres de movimentos de massa no Brasil (Augusto Filho, 1998). Neste sentido, conhecer as áreas que são propensas a este tipo de fenômeno é de fundamental importância para planos de prevenção e mitigação de riscos deste tipo.

Algumas medidas como mapeamentos de suscetibilidade a processos geomorfológicos que podem ser considerados perigosos frente a ocupação humana contribuem para gestão territorial, de modo a identificar os locais menos propensos à habitação. Dentre outras informações, a análise de ocorrências pretéritas de determinados fenômenos geomorfológicos como movimentos de massa pode auxiliar no entendimento da dinâmica desses processos e no conhecimento dos locais com maior possibilidade de novas ocorrências.

O conhecimento das características topográficas também é importante, uma vez que essas são consideradas um fator condicionante para deflagração de movimentos de massa (Fernandes e Amaral, 2000). Os condicionantes podem ter origem natural, ligado às aspectos de clima, vegetação, geologia e geomorfologia ou origem antrópica, associados às intervenções que o homem realiza sobre o meio natural. Dentre os condicionantes geomorfológicos que atuam direta ou indiretamente, podem ser citadas as características geométricas do terreno tais como forma da encosta e declividade (Beven e Kirkby, 1979; Selby, 1993).

A forma da encosta atua na deflagração de movimentos de massa de maneira indireta. Ela condiciona os fluxos de água superficiais e subsuperficiais e estes sim são passíveis de destruir a resistência dos materiais que compõem as encostas (Gerente et al., 2015). Formas côncavas tendem a concentrar/convergir água superficial e subsuperficialmente, formas convexas proporcionam uma maior dispersão d'água e formas retilíneas são zonas de passagem de fluxos de água (O'callaghan e Mark, 1984).

A declividade, pode ser definida segundo Moreira e Neto (1998) e Florenzano (2007) como a relação entre a amplitude e o comprimento da rampa, ou seja, a relação entre a altura e o plano horizontal de uma encosta, podendo ser medida em graus ou em porcentagem. É um condicionante fundamental para ocorrência de movimentos de massa porque está diretamente ligada às forças atuantes no equilíbrio das vertentes. A declividade influencia no sentido de aumentar a força de cisalhamento, tornando mais suscetível a ocorrência de movimentos de massa em locais com maiores declividades. Além disso, a declividade influencia na velocidade do deslocamento

e na capacidade de transporte do material mobilizado em uma ruptura (Lopes, 2006 *apud* Gomes, 2012).

O conhecimento das características topográficas de terrenos que sofreram movimentos de massa pode ser útil para diversas esferas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise das variáveis topográficas de forma e declividade em locais de ocorrências de movimentos de massa.

## 2 - AREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a uma sub-bacia situada no alto vale da bacia do Ribeirão do Baú (figura 01), localizada no noroeste do município de Ilhota/SC e possui uma extensão territorial de 10 km<sup>2</sup>.

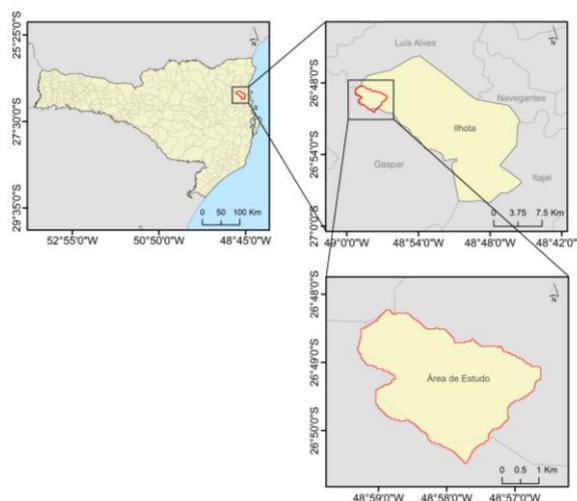


Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo

As litologias desta bacia estão associadas as rochas do Complexo Granulítico Santa Catarina, também conhecido como Complexo Luis Alves e correspondem a rochas do tipo gnaisse, além das associações máficas. A cobertura sedimentar recente é representada por depósito de talús, sedimentos presentes no leito dos rios e pelas planícies de inundação. Por estar sobre influência do clima subtropical, as condições de temperatura e umidade favorecem o intemperismo químico das rochas, formando mantos de alteração bastante espessos. O regime de chuvas é bem distribuído ao longo do ano, sendo registrados maiores níveis de precipitação durante o período de verão. O relevo apresenta-se bastante dissecado, com vales bem encaixados. Grande parte da bacia é composta por Cambissolos e a ocupação ocorre em maior parte no fundo dos vales e as encostas são utilizadas para o cultivo de banana, permanecendo, portanto, a vegetação em estágio de capoeirão apenas nos topos dos morros, onde as declividades são mais acentuada.

### 3 - MATERIAIS E METODOS

A partir da interpretação visual das ortofotos digitais com resolução espacial de 39 cm do aerolevantamento da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS) realizado entre os anos de 2010 e 2013 e, ainda a partir de visita de campo e observações das imagens históricas do *Google Earth*, foi realizado o mapeamento das cicatrizes de movimentos de massa deflagrados na área de estudo. Considerou-se como cicatriz tanto a zona de ruptura e/ou deformação, quanto à zona de passagem e depósito dos materiais. Com base neste mapeamento foram extraídos os valores de área média, máxima e mínima das feições mapeadas.

Como fonte de dados topográficos foram obtidas as variáveis de declividade e forma de vertente do projeto Topodata (Brasil, 2008), um banco de dados geomorfométricos do Brasil disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este projeto foi elaborado a partir do processamento de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

A variável declividade foi primeiramente transformada para graus e posteriormente foi classificada em seis classes consideradas adequadas para representatividade deste trabalho, sendo elas 0 - 10°, 10 - 15°, 15 - 20°, 20 - 25°, 25 - 30° e 30 - 40°. A variável forma de relevo foi classificada em três classes: convergente, retilínea e divergente.

Para a análise e quantificação das características topográficas dos terrenos que ocorreram movimentos de massa foi realizada uma sobreposição entre o mapeamento das cicatrizes e as respectivas variáveis geomorfométricas classificadas conforme o exposto.

### 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da interpretação visual foram mapeadas 44 cicatrizes de movimentos de massa. A área média das cicatrizes mapeadas foi de 9,4 m<sup>2</sup>, sendo a área máxima correspondente a 42,5 m<sup>2</sup> e a mínima a 534 m<sup>2</sup>. A soma das áreas de todas as cicatrizes correspondeu a cerca de 5% do território da bacia em análise.

A distribuição das ocorrências de movimentos de massa em relação às classes de declividade pode ser observada no gráfico 01.

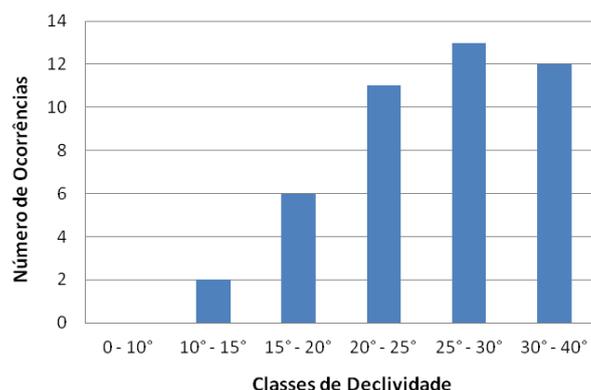


Gráfico 01: Quantidade de movimentos de massa por classe de declividade.

Em relação às configurações de relevo, 4,5% dos movimentos de massa tiveram sua zona de ruptura ou deformação em áreas com declividade de 10 a 15°, 13,6% em áreas com declividade de 15 a 20°, 25% em áreas com declividade de 20 a 25°, 29,6% em áreas com declividade de 25 a 30° e 27,3% em áreas com declividade de 30 a 40°. Nenhum movimento de massa foi registrado na classe topográfica de 0 a 10°.

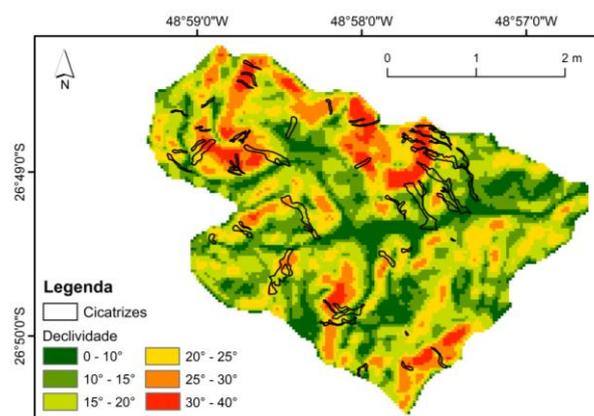


Fig. 2 - Sobreposição entre o mapeamento das cicatrizes de movimentos de massa com a declividade.

Com base na sobreposição, é possível notar que a maioria das ocorrências de movimentos de massa da área de estudo ocorreram em terrenos com declividade média a alta, uma vez que mais de 80% das cicatrizes ocorreram em áreas com declividade superior a 20°, sendo que quase 60% das ocorrências se concentram nas classes de 25° a 40°.

O aumento da declividade pode ocorrer tanto por processos naturais como solapamento por erosão fluvial ou retirada do suporte lateral como pela ação antrópica, a exemplos das obras de engenharia como cortes de taludes inadequados para construção de vias ou edificações. Com o aumento da inclinação, mais precária ficam as jogos de forças que dão equilíbrio a

encosta, favorecendo, portanto os movimentos de massa sob a ação da gravidade (BINI, 2012).

Gonçalves e Francisco (2016) ao analisarem as características topográficas dos terrenos do município de Nova Friburgo, na região Serrana Fluminense, identificaram que a maior ocorrência de movimentos de massa foi em classes intermediárias de declividade, sendo que classes de 30° a 35° foram as que houveram a maior densidade de movimentos de massa.

A distribuição das ocorrências de movimentos de massa em relação às classes de forma de encosta pode ser observada no gráfico 02.

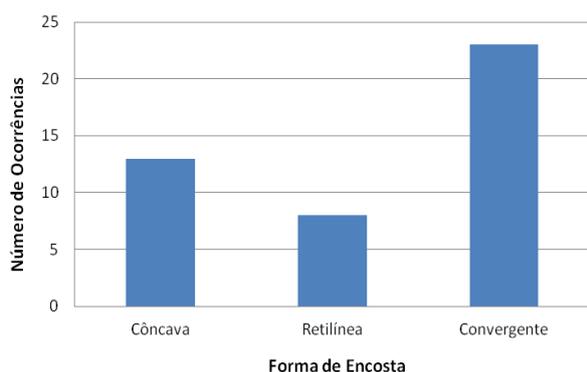


Gráfico 02: Quantidade de movimentos de massa por classe de forma de encosta.

Em relação à variável forma de relevo, 29,5% das zonas de ruptura e/ou deformação ocorreram em relevos de forma convergente (côncava), 18,2% das rupturas e/ou deformações ocorreram em formas de relevo de predominância retilínea e 52,3% das rupturas e/ou deformações ocorreram em formas predominantemente divergentes (convexas).

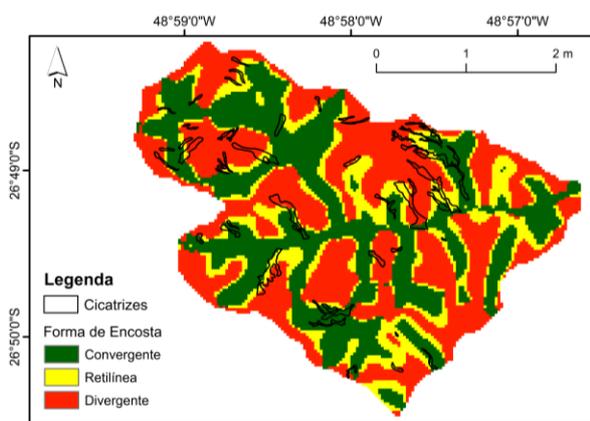


Fig. 03 - Sobreposição entre o mapeamento das cicatrizes de movimentos de massa com a forma de terreno.

Percebe-se que os resultados encontrados no presente trabalho assemelham-se com o de outras

pesquisas desenvolvidas no âmbito nacional. Santos e Vieira (2008) analisaram a influência de fatores topográficos e geológicos na distribuição de deslizamentos rasos na Serra do Mar (SP), levando em consideração, entre outros fatores a forma de encosta. O resultado da pesquisa apontou a forma convexa como a de maior predominância de ocorrência de deslizamentos, embora tivesse ocorrido uma quantidade de cicatrizes em formas retilíneas também.

Gerente et al. (2015) ao estudar os movimentos de massa deflagrados na bacia do rio Saltinho, no município de Gaspar (SC), também encontrou que aproximadamente 50% dos movimentos de massa ocorreram em áreas com relevo divergente (convexo).

## 5- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos foi possível conhecer as características topográficas em que mais ocorreram movimentos de massa. Percebe-se que mais de 50% dos movimentos de massa foram deflagrados em ambientes com declividade superior a 25° e com forma divergente.

Tal conhecimento pode servir de base para elaboração de zoneamentos territoriais e de mapeamentos de suscetibilidade a movimentos de massa. Além disso, a análise dos atributos topográficos é bom indicador para o entendimento preliminar da dinâmica dos processos e ambientes que envolvem a deflagração de movimentos de massa.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNQp e CAPES pela concessão de bolsas de mestrado e doutorado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGUSTO FILHO, O.; Virgili, J. C. (1998) **Estabilidade de Taludes**. In Oliveira, A.M.S. e Brito, S.N.A. (eds) Geologia de Engenharia. ABGE, São Paulo: 243-269.
- BEVEN, K. e KIRKBY, M.J.. **A physically based variable contributing area model of basin hydrology**. Hydrol. Sci. Bull., 24:43-69, 1979.
- BINI, G. M. P. **Análise dos movimentos de massas nas microbacias fluviais: Saltinho, Belchior, Baixo Sertão e Porto Arraial – Gaspar – SC**. Dissertação de mestrado – Geografia. Florianópolis: UFSC, 2012.
- BRASIL, 2008. **Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil**. INPE, São José dos Campos, Brasil <<http://www.dsr.inpe.br/topodata>>.
- CROZIER, M. J. **Landslide: causes, consequences & environment**. Sidney: Crom Helm Ltd.,1986.

FERNANDES, N.F., AMARAL, C. P. **Movimentos de Massa: Uma abordagem geológico-geomorfológica.** In: Guerra, A. J. T. & Cunha, S. B. (orgs). Geomorfologia e Meio Ambiente. 3. Ed. Bertrand Brasil, 2000. 372 p.

FLORENZANO, Teresa G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais,** (Org.). – São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GERENTE, J.; BINI, G. M. P.; LUIZ, E. L. **Análise da variável forma de relevo como condicionante de movimentos de massa: Estudo de caso na bacia do Rio Saltinho em Gaspar/SC.** Revista Equador, v. 4, p. 993-1000, 2015.

GOMES, M. C. V. **Análise da influência da condutividade hidráulica saturada dos solos nos escorregamentos rasos na bacia do rio Guaxinduba (SP).** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2012.

GONÇALVES, U. S.; FRANCISCO, C. N. Análise espacial das variáveis geomorfométricas e movimentos de massa na região serrana fluminense. RBC. **REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA (ONLINE)**, v. 69, p. 1839-1851, 2016.

LOPES, E. S. S. (2006) **Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista, na escala de 1:10.000.** Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 302p.

MOREIRA, C. V. R; PIRES NETO, A. G. **Clima e Relevo.** In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO S. N. A. de. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998, p. 69-85.

O'CALLAGHAN, J.F.; MARK, D.M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer vision, graphics, and image processing**, 28: 323-344. 1984.

SELBY, M. J. **Hillslope materials & processes.** New York: Oxford University Press, 1993. 451p.

SEVEGNANI et al. Gente socorrendo gente. In: FRANK, B.; SEVEGNANI, L. (Org.). **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política.** Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009, p. 110-127.