

## **Análise de fatores topográficos na distribuição de escorregamentos na Serra do Mar, Teresópolis (RJ): estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Vieira**

Alvear, M.L.S. (UFRJ) ; Araújo, J.P.C. (UFRJ) ; Silva, L.M. (UFRJ) ; Fernandes, N.F. (UFRJ)

### **RESUMO**

As condições topográficas são fatores importantes na iniciação de escorregamentos. O objetivo deste trabalho é identificar a influencia da topografia na distribuição de escorregamentos com base na análise da bacia do rio Vieira em Teresópolis (RJ). Os índices incluem o Índice Topográfico de Saturação (ITS), área de contribuição e ângulo de encosta. Os resultados mostraram que na área de estudo a distribuição dos escorregamentos está relacionada com os índices analisados.

### **PALAVRAS CHAVES**

*ESCORREGAMENTOS TRANSLACI; INDICES TOPOGRÁFICOS; SERRA DO MAR*

### **ABSTRACT**

The topographic conditions are important factors for the initiation of landslides. The objective of this study is to identify the influence of topography on the distribution of landslides based on the analyses of the Vieira river basin in Teresopolis (RJ).. The indices include the topographic wetness index (TWI), contribution area and slope. The results show that, in the study area, landslides distribution are related to the indices analysed.

### **KEYWORDS**

*SHALLOW LANDSLIDES; TOPOGRAPHIC INDICES; SERRA DO MAR*

### **INTRODUÇÃO**

Os movimentos de massas são fenômenos naturais de dinâmica externa que possuem um importante papel na evolução do relevo. Porém, quando atingem áreas de ocupação humana, principalmente onde ela ocorre de maneira desordenada, causam grandes prejuízos socioeconômicos (Fernandes, 1996). Devido ao seu potencial destrutivo, a questão dos movimentos de massa vem adquirindo cada vez mais importância nos meios políticos, acadêmicos e sociais. Em Janeiro de 2011 toda Região Serrana do Rio de Janeiro foi atingida, em maior ou menor grau, por fortes precipitações que desencadearam milhares de escorregamentos e corridas de detritos, reforçando a necessidade de estudos que visam melhorar o entendimento desses processos. Entretanto, devido à sua enorme complexidade, os movimentos de massa são de difícil previsão e grande parte das metodologias utilizadas demandam custos elevados, tanto em recursos humanos, financeiros e temporais. Por esses motivos, apesar de imprescindíveis como suporte ao planejamento da ocupação do solo e mitigação dos danos associados, estes estudos ainda não são aplicados de forma extensiva. Nesse sentido, o objetivo principal desse trabalho é analisar a influência de alguns índices morfométricos sobre a distribuição espacial dos movimentos de massa em uma bacia piloto localizada na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. Os índices topográficos utilizados foram: Índice Topográfico de Saturação (ITS), área de contribuição, elevação e ângulo de encosta. Estes índices foram selecionados por terem apresentado bons resultados na literatura e por se basearem em parâmetros de fácil obtenção, de forma a possibilitar uma ampla aplicabilidade (Chen and Yu, 2011; Conoscenti et al., 2008; Nefeslioglu et al., 2008).

### **MATERIAL E MÉTODOS**

A Bacia do Rio Vieira foi selecionada por ter sido fortemente atingida pelas chuvas de Janeiro de 2011 que deflagraram uma série de escorregamentos levando a morte de 26 pessoas e a destruição de centenas de casas e vias. Apesar de apresentar diversas unidades litológicas, as mesmas não exerceram influencia significativa na distribuição dos deslizamentos, devido a um comportamento

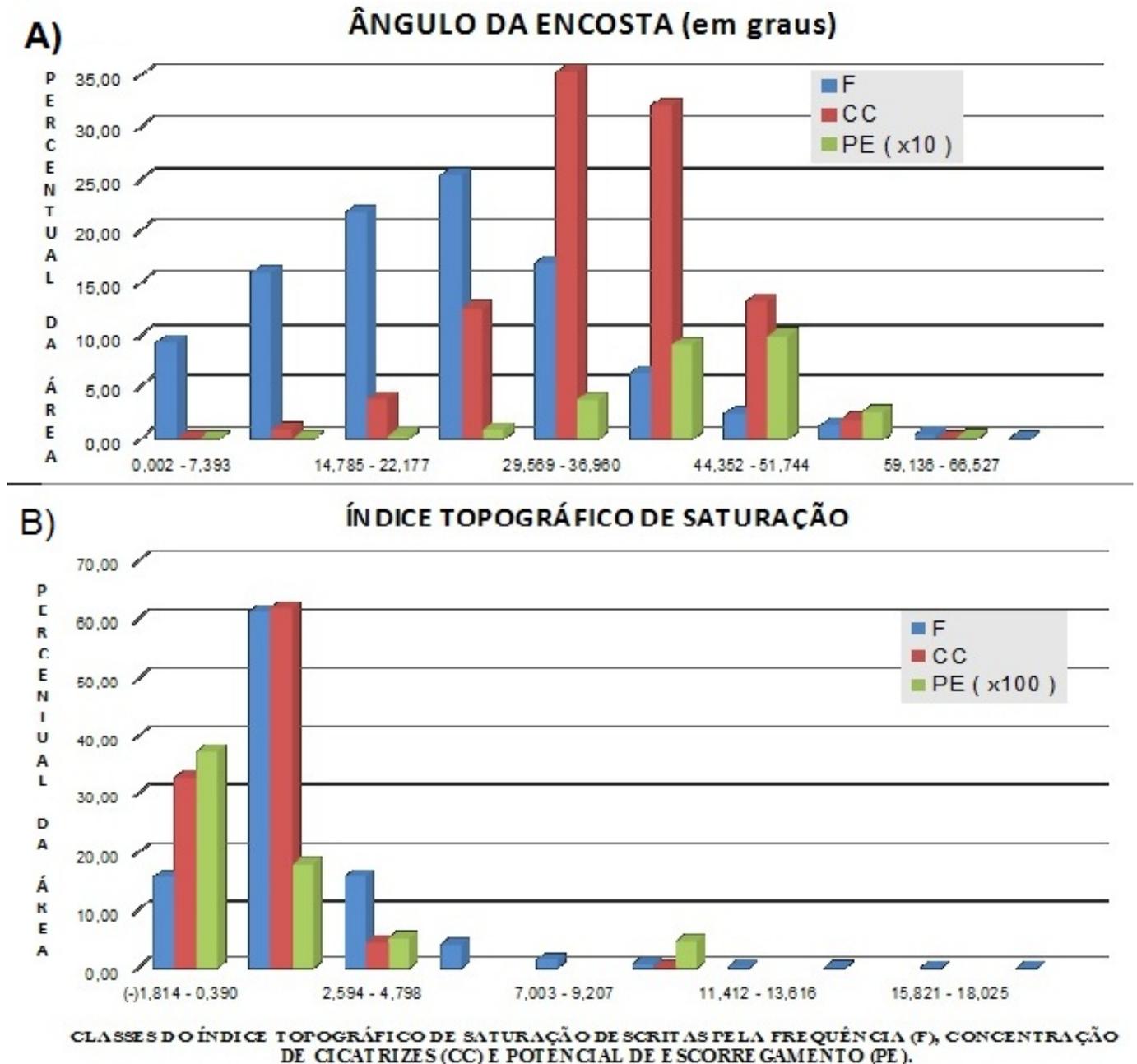
geomecânico semelhantes (Rodrigues et al, 2011). Como afirma Costanzo et al (2012), na ausência de imagens de sensores remotos, as imagens do software livre Google Earth (GE) se apresentam como uma boa alternativa para identificação de feições de movimento de massa. Portanto, foi criado um mosaico das imagens extraídas do GE (GeoEye, obtidas 19/01/12) e georreferenciado com base nas ortofotos da Ampla Energia e Serviços S.A. A obtenção dos índices foi realizada com o uso de Sistemas de Informação Geografia (SIG), onde foi gerado um MDE, com pixel de 5m, pelo interpolador TOPOGRID (ESRI, 1996), a partir da base topográfica na escala de 1:10.000 e da drenagem vetorizada das ortofotos. Deste foram derivados os atributos de ângulo de encosta (Zevenbergen and Thorne,1987) e área de contribuição (Quinn et al.,1991). Por fim, foi calculado o Índice Topográfico de Saturação (ITS), descrito nas Equação:  $ITS = \ln (As/\tan\beta)$  Onde As é a área de contribuição de cada pixel e  $\tan\beta$  é o ângulo de encosta. Para analisar a influencia dos fatores topográficos sobre a distribuição dos escorregamentos, foram criadas classes e para cada uma foi estabelecida sua Frequência (F), a razão entre o número de células de cada classe e o número total de células da bacia; Concentração de Cicatrizes (CC), que consiste na razão entre o número de células de cada classe afetadas pelas cicatrizes e o total de células afetadas na bacia; e o Potencial de Escorregamentos (PE), razão do número de células afetadas pelas cicatrizes pelo total de células, em cada classe.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O MDE produzido apresentou um total de 1.301.434 pixels, dentre os quais 2.327 foram mapeados como áreas de ruptura, representando aproximadamente 0,17% da área total. Este valor é equivalente a um PE para toda a área da bacia e servira portanto como base de comparação. Essa porcentagem é relativamente pequena devido não somente as características da área estudada e da especificidade do evento ocorrido, mas principalmente pelo método pelo qual foram mapeadas as cicatrizes. No presente trabalho, as análises foram realizadas a partir de um inventário com o mapeamento somente dos setores considerados como áreas fonte, as áreas em que houve rompimento do material, de forma que os setores das cicatrizes de escorregamento aos quais predominaram processos de transporte e deposição. Como fica evidenciado na tabela 1, as tres primeiras classes de elevação apresentam os maiores valores de F e de CC, que somados totalizam aproximadamente 70 e 52%, respectivamente. Apesar disso, apresentam PE relativamente pequeno, inferior ao PE médio da bacia. Os maiores valores de PE se encontram nas maiores elevações, com exceção da ultima classe. Esse comportamento é devido as areas de menor elevação representarem os fundos de vales, onde predominam processos de deposição aluvial e coluvial, e as de maiores serem dominados por setores montanhosos. Um comportamento semelhante ocorre em relação ao ângulo de encosta, figura 1A e tabela 1, em que as quatro primeiras classes tem uma F de cerca de 72%, mas com CC totalizando somente 17% e apresentando uma tendencia crescente de PE, contanto sem atingir um valor maior que a média da bacia. Já a quinta até a oitava classe apresentam PE elevados, com destaque para o intervalo entre 40 - 50 graus, onde os valores são expressivos. As ultimas duas classes apresentam valores não significativos à nulos de PE, provavelmente por serem áreas de afloramento rochoso, com uma declividade tal que não permita o estabelecimento do solo. Os menores valores de área de contribuição estão presentes nos interflúvios e divisores das bacias, de forma que a primeira classe apresenta um reduzido PE, evidenciado na tabela 1. A segunda e a terceira classe são as que apresentam os valores mais significativos de PE, estando relacionadas a porções superiores da encosta que não drenam uma área tão grande, mas que em conjunto com outros fatores, já é suficiente para influenciar no aumento da poro-pressão positiva. As demais classes tem F, CC e PE reduzidos ou nulos, pois representam os fundos de vale, canais e áreas adjacentes. Esse parâmetro é o que apresenta maior diferença em relação a outros trabalhos (Fernandes et al, 2004; Vieira, 2007), devido ao mapeamento das cicatrizes, nos quais são considerados os setores de transporte e deposição dos materiais rompidos, que geralmente coincidem com trechos confinados ou canalizados, que apresentam maiores valores de área de contribuição. O ITS demonstra o efeito do relevo na localização e tamanho das zonas de saturação, podendo ser analisado em relação aos escorregamentos cujo mecanismo de ruptura é o aumento da poro-pressão positiva. Os setores úmidos relacionem-se aos valores elevados de área de contribuição associados a um ponto qualquer e/ou encostas com baixo ângulo, enquanto setores com menor umidade podem relacionar-se aos

valores elevados de gradiente e/ou reduzidas áreas de contribuição. Portanto, áreas de fundo de vale apresentam valores elevados de ITS, pois drenam suas encostas laterais e toda área a montante, além de geralmente apresentar uma declividade relativamente suave. Logo, como é mostrado na figura 1B, são as áreas com menores valores de ITS que apresentam maior PE, associados a setores com ângulo de encosta elevado e área de contribuição média ou baixa.

Figura 1



A) Gráfico de Ângulo de encosta B) Gráfico de Índice Topográfico de Saturação

Tabela 1

Tabela 1: Valores de Frequencia (F), Concentração de Cicatrizes (CC) e Potencial de Escorregamento para cada classe.

ELEVAÇÃO	F	CC	PE
880,91 - 1002,97	7,78226	5,15685	0,11848
1002,97 - 1125,03	35,9115	25,0967	0,12496
1125,03 - 1247,1	26,3803	22,3893	0,15175
1247,1 - 1369,16	12,3807	13,9235	0,20108
1369,16 - 1491,22	6,66526	8,72368	0,23402
1491,22 - 1613,28	4,51533	7,43446	0,2944
1613,28 - 1735,35	2,74036	9,15342	0,59724
1735,35 - 1857,41	2,17844	5,93038	0,48676
1857,41 - 1979,47	1,06121	2,19166	0,36927
1979,47 - 2101,53	0,38473	0	0
	100	100	

LOG10_ACC	F	CC	PE
0,698 - 1,310	6,52995	3,65277	0,10002
1,310 - 1,921	38,0891	52,8578	0,24813
1,921 - 2,532	38,4737	37,9029	0,17615
2,532 - 3,144	10,5749	5,19983	0,08792
3,144 - 3,755	3,38903	0,21487	0,01134
3,755 - 4,366	1,55436	0	0
4,366 - 4,977	0,69746	0	0
4,977 - 5,589	0,40471	0,1719	0,07594
5,589 - 6,200	0,18749	0	0
6,200 - 6,811	0,09928	0	0
	100	100	

ÂNGULO ENCOSTA	F	CC	PE
0,002 - 7,393	9,32852	0,08602	0,00166
7,393 - 14,785	16,0058	0,90323	0,01014
14,785 - 22,177	21,8448	3,78495	0,03113
22,177 - 29,569	25,4258	12,6022	0,08905
29,569 - 36,960	16,9284	35,3548	0,37523
36,960 - 44,352	6,29323	32,086	0,91602
44,352 - 51,744	2,39337	13,2903	0,99768
51,744 - 59,136	1,31121	1,84946	0,25342
59,136 - 66,527	0,42285	0,04301	0,01827
66,527 - 73,919	0,04598	0	0
	100	100	

ITS	F	CC	PE
(-)1,814 - 0,390	15,7754	32,9032	0,37473
0,390 - 2,594	61,3594	62,1505	0,18198
2,594 - 4,798	15,9567	4,77419	0,05376
4,798 - 7,003	4,41041	0	0
7,003 - 9,207	1,43956	0	0
9,207 - 11,412	0,62554	0,17204	0,04941
11,412 - 13,616	0,28839	0	0
13,616 - 15,821	0,11151	0	0
15,821 - 18,025	0,02511	0	0
18,025 - 20,230	0,00804	0	0
	100	100	

*Atributos de Frequencia, Concentração de Cicatrizes e Potencial de Escorregamento*

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estes primeiros resultados demonstraram uma tendencia de controle topográfico sobre o processo de escorregamento. Em análises futuras, a partir da incorporação de novos índices e de uma ampliação do universo amostral através da aplicação dos mesmos em outras bacias da região, espera-se poder definir valores de limites críticos para cada índice analisado. Estes valores poderão dar suporte à tomada de decisão por parte poder público a respeito das políticas de prevenção do risco e ocupação do espaço em toda Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. Para que esses limites críticos possam ser utilizados e que comparações entre diferentes áreas de estudo possam ser realizadas, é necessário que seja estabelecido uma padronização dos critérios de mapeamento das cicatrizes das áreas instáveis. Isso acontece porque os setores de rompimento e de deposição do material mobilizado costumam apresentar valores diferentes dos índices e parâmetros utilizados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

Chen, C.-Y., Yu, F.-C., 2011. Morphometric analysis of debris flows and their source areas using GIS. *Geomorphology*, 129, 387-397.

Conoscenti, C., Di Maggio, C., Rotigliano, E., 2008. GIS analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy). *Geomorphology*, 94, 325-339.

Costanzo, D., Rotigliano, E., Irigaray, C., Jiménez-Perálvarez, J. D., and Chacón, J.: Factors selection in landslide susceptibility modelling on large scale following the gis matrix method: application to the river Beiro basin (Spain), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 327-340, doi:10.5194/nhess-12-327-2012, 2012.

ESRI, 1996. ARC/INFO Online Documentation. Environmental Systems Research Institute Incorporated. Redlands, CA, USA.

Fernandes, N. F.; Amaral, C. P. (1996) Movimentos de massa: uma abordagem geológicogeomorfológica. In Guerra, A.J.T. E Cunha, S.B. (org.) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Bertrand, Rio de Janeiro: 123-194.

Fernandes NF, Guimarães RF, Gomes RAT, Vieira BC, Montgomery DR, Greenber H. 2004. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. *Catena* 55: 163-181.

Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94, 401-418.

Quinn, P., Beven, K., Chevalier, P., Planchon, O., 1991. The prediction of hillslope paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. *Hydrological Processes*, 5, 59-79.  
RODRIGUES, J. G. ; AMARAL, C ; TUPINAMBÁ, M . Megadesastre 11 da Serra Fluminense: A Corrida de Massa do Vieira, em Teresópolis - Análise Preliminar dos Condicionantes Geológicos.. In: 13º CBGE, 2011, SP. Anais do CBGE, 2011.

VIEIRA, B. C. (2007). Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 193.

Zevenbergen, L.W., Thorne, C.R., 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 59-64.