

PREVISÃO DE ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS E ÁREA DE DUTOS: ESTUDO DE CASO DO MACIÇO DO TINGUÁ NA RESERVA BIOLÓGICA FEDERAL DO TINGUÁ (RJ).

PREVISÃO DE ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS E ÁREA DE DUTOS: ESTUDO DE CASO DO MACIÇO DO TINGUÁ NA RESERVA BIOLÓGICA FEDERAL DO TINGUÁ (RJ).

Araújo, J.P.C.<sup>1</sup>; Silva, L.M.<sup>2</sup>; Silva, F.A.D.<sup>3</sup>; Fernandes, N.F.<sup>4</sup>;

<sup>1</sup>UFRJ *Email*:jpaulo\_geo@hotmail.com; <sup>2</sup>UFRJ *Email*:luciaflrj@hotmail.com; <sup>3</sup>UERJ *Email*:fdourado@labgis.uerj.br; <sup>4</sup>UFRJ *Email*:nelsonff@uol.com.br;

**RESUMO:**

Os movimentos de massa são grandes causadores de prejuízos financeiros, podendo danificar redes de infraestrutura como oleodutos e gasodutos. O objetivo desse trabalho é realizar uma análise das condições de estabilidade das encostas do Maciço do Tinguá, na Reserva Biológica Federal do Tinguá (RJ), por onde passam oleodutos e gasodutos. Utilizou-se um modelo matemático de base física e os resultados propiciaram uma análise preliminar da susceptibilidade a escorregamentos translacionais na área.

**PALAVRAS CHAVES:**

*Escorregamentos rasos; modelagem; SHALSTAB*

**ABSTRACT:**

Mass movements cause large financial losses and damage on infrastructure networks, such as gas and oil pipelines. The aim of this study is to analyze the stability conditions of the slopes in Tinguá Massive on Federal Biological Reserve of Tinguá (RJ), crossed by oil and gas pipelines. It was used a mathematical model based on physical forces and the results provided a preliminary analysis of the landslides' susceptibility in the area.

**KEYWORDS:**

*Shallow landslides; Modeling; SHALSTAB*

**INTRODUÇÃO:**

Movimentos de massa são fenômenos naturais de dinâmica externa que participam da evolução das formas do relevo. São um dos maiores causadores de prejuízos financeiros do mundo (ONU, 1993), e interessam, principalmente, quando sua ocorrência se dá em locais onde estão localizadas cidades, redes de infraestrutura (oleodutos, gasodutos, aquedutos, estradas, linhas de transmissão) e complexos industriais, causando perdas materiais e humanas (FLORENZANO, 2008). Nos dias 11 e 12 de novembro de 2009 foram registradas ocorrências de deslizamentos nas encostas do Maciço do Tinguá, sendo que uma corrida originada por escorregamentos afetou diretamente uma travessia

## PREVISÃO DE ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS E ÁREA DE DUTOS: ESTUDO DE CASO DO MACIÇO DO TINGUÁ NA RESERVA BIOLÓGICA FEDERAL DO TINGUÁ (RJ).

do oleoduto ORBEL I, (o mesmo não rompeu), colocando em evidência a vulnerabilidade dos dutos que atravessam a área. Este trabalho tem como objetivo realizar uma primeira análise matemática dos fatores topográficos e hidrológicos relacionados às condições de estabilidade nas encostas do Maciço do Tinguá. Trata-se de um trabalho que vem sendo desenvolvido em etapas e as apreciações que se seguem correspondem à uma fase inicial do projeto. A susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos translacionais foi calculada pelo SHALSTAB (SHALLOW Landslide STABILITY Analysis), um modelo matemático determinístico, desenvolvido no início da década de 80 (DIETRICH et al., 1992, 1993, 1995; MONTGOMERY & DIETRICH, 1994). O modelo privilegia o controle topográfico e hidrológico dos escorregamentos, acoplando um modelo hidrológico e um modelo de estabilidade de encostas para definir as zonas susceptíveis à ocorrência de escorregamentos. O modelo SHALSTAB calcula os valores de susceptibilidade a deslizamento para cada pixel de uma malha regular sob condições hidrológicas de steady state, considerando parâmetros geotécnicos, hidrológicos e topográficos e apresenta os resultados em mapas e histogramas. Mais detalhes podem ser obtidos em (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994; DIETRICH & MONTGOMERY, 1998; GUIMARÃES, 2000; entre outros).

### **MATERIAL**

### **E**

### **MÉTODOS:**

A Reserva Biológica Federal do Tinguá estende-se por uma área de 26 mil hectares e abrange seis municípios, sendo que a maior parte pertence ao município de Nova Iguaçu, no Estado do Rio de Janeiro. Para as análises realizadas neste trabalho, foram definidas as 5 sub-bacias (75,1 km<sup>2</sup> em superfície real) com maior frequência de cicatrizes relacionadas aos eventos de novembro de 2009. Os dados topográficos foram obtidos através da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) e constam na carta CAVA (SF-23-Z-B-IV-1), escala 1:50.000. Os procedimentos da etapa de pré-processamento foram realizados utilizando os softwares ArcInfo 10 e ArcView 3.3 e visaram gerar um produto topográfico consistente com os processos hídricos-geomorfológicos. Incluem: (a) edição das curvas de nível; (b) orientação da drenagem de acordo com a direção de fluxo através; (c) geração do modelo digital de elevação (MDE) através do algoritmo Topo to Grid, desenvolvido a partir de rotinas propostas por Hutchinson (1989), considerado hidrológicamente consistente (ESRI, 1996; HUTCHINSON, 1989). O MDE gerado possui resolução de 20 m, de acordo com a acuidade visual. O mapeamento de cicatrizes foi realizado em imagem multiespectral do satélite WorldView II, de 0,5 m de resolução, obtida em 05 de Janeiro de 2010, apoiada por informações topográficas (56 cicatrizes). Foram utilizados parâmetros de trabalhos preexistentes em áreas com características semelhantes (VIEIRA, 2007). Os resultados foram analisados de acordo com a metodologia proposta por Gao (1993). Os índices analisados foram Frequência (F), que é a razão entre o número de células de cada classe e o total de células da bacia; Concentração de Cicatrizes (CC), razão do número de células de cada classe afetadas pelos escorregamentos e o total de células da bacia que foram atingidas; Potencial de Escorregamento (PE), razão entre o número de células afetadas por escorregamentos e o total de células daquela classe.

PREVISÃO DE ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS E ÁREA DE  
DUTOS: ESTUDO DE CASO DO MACIÇO DO TINGUÁ NA RESERVA  
BIOLÓGICA FEDERAL DO TINGUÁ (RJ).

**RESULTADOS**

**E**

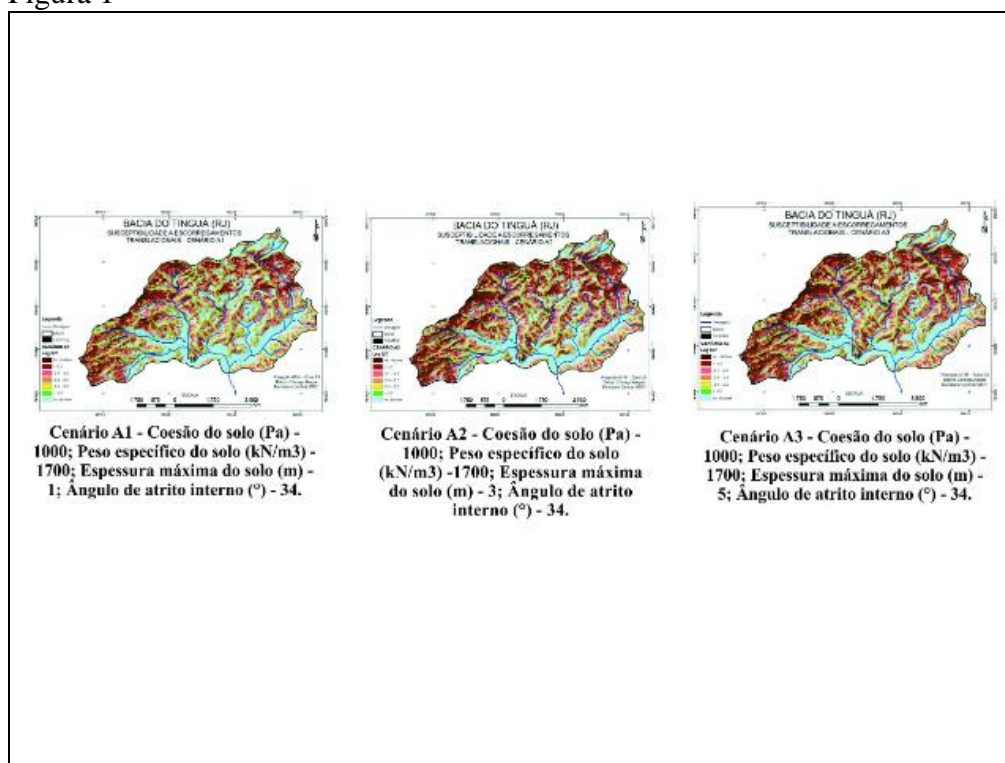
**DISCUSSÃO:**

Foram simulados 3 (três) cenários denominados A1, A2 e A3. Os valores geotécnicos foram considerados como constantes, alterando apenas as espessuras do solo. De acordo com a literatura, esse é o parâmetro mais sensível aos resultados do modelo (Figura 1). Figura 1 Figura 2 A Frequência (F) dessas classes (Figura 2) mostrou que cerca de 8% a 14% da área foi classificada como incondicionalmente instável em todos os cenários. A classe incondicionalmente estável ocupou de 25% a 34% da área da bacia em todos os cenários. Aproximadamente 50% da área foi classificada como áreas de média instabilidade. As áreas mais estáveis localizaram-se nos topos dos principais interflúvios, com baixos ângulos de encosta e em maior proporção em fundos de vales da bacia (Figuras 1 e 2). As mudanças mais significativas entre os cenários ocorreram nas áreas ocupadas pelas classes incondicionalmente instável e incondicionalmente estável, entre os cenários A1 e A3. Na avaliação da Concentração de Cicatrizes (CC) todos os cenários apresentaram tendência semelhante quanto à distribuição dos escorregamentos em cada uma das classes de susceptibilidade (Figuras 1 e 2), exceto pelo cenário A1 na classe incondicionalmente instável e  $\log(Q/T) < -3.1$ . O maior índice de CC se situou no cenário A3 (maior espessura de solo), em torno de 47% na classe incondicionalmente instável. O cenário A3 (5 m de espessura de solo) apresentou 24% da CC nas classes de média instabilidade, enquanto o cenário A1 (1 m de espessura de solo) apresentou aproximadamente 32% da CC nessas mesmas classes. Tendência muito similar ao comportamento do cenário A1 e A3 nessas classes foi a do cenário A2 (3 m de solo) para as mesmas classes instáveis. Nota-se que até 45% das cicatrizes nos cenários A2 e A3 localizaram-se na classe incondicionalmente instável. Os valores baixos de CC na classe estável está de acordo com os trabalhos feitos na Serra do Mar no Brasil (VIEIRA, 2007; GOMES, 2002). Considerando-se percentuais acumulativos da Concentração de Cicatrizes (CC) em cada uma das classes de susceptibilidade, no cenário A3 65% dos escorregamentos se concentraram na categoria de  $\log(Q/T) < -3,1$ , 71% em  $\log(Q/T) < -2,8$  e 81% em  $\log(Q/T) < -2,5$ . Tais percentuais são bastante similares àqueles encontrados na literatura. Montgomery & Dietrich (1994), em estudos realizados em Berkeley (EUA), reportaram que de 83% a 100% do total de cicatrizes atingiram limites de  $\log(Q/T) < -2,5$ . Percentuais acumulativos um pouco menores foram obtidos por Dietrich & Montgomery (1998), que identificaram 54% dos escorregamentos em valores de  $\log(Q/T) < -3,1$ , 68% em  $\log(Q/T) < -2,8$  e 90% em  $\log(Q/T) < -2,5$ . Essa variação entre a concentração de cicatrizes, considerando percentuais acumulativos e os limites de  $\log(Q/T)$  é explicada por Dietrich et al. (1998) em função da qualidade e da resolução do grid do MDE. Segundo esses autores, para capturar mais de 60% das cicatrizes, em um grid de 30m2, é necessário um limite de  $\log(Q/T) < -2,5$ . Utilizando um grid de 10m2 de resolução, um limite de  $\log(Q/T) < -2,8$  pode ser mais adequado e para MDE com alta resolução esse limite pode ser de  $\log(Q/T) < -3,1$ . Nesse trabalho foi necessário o limite da classe de  $\log(Q/T) < -3,1$  para alcançar esse percentual de cicatrizes. Os maiores índices de PE (Figura 2) foram registrados na classe incondicionalmente instável. Esse índice, em todos os cenários, decaiu até a classe de  $\log(Q/T) < -2.8$  e cresceu até  $\log(Q/T) > -2.2$ . O resultado é coerente com a literatura, onde os menores valores de PE foram

# PREVISÃO DE ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS E ÁREA DE DUTOS: ESTUDO DE CASO DO MACIÇO DO TINGUÁ NA RESERVA BIOLÓGICA FEDERAL DO TINGUÁ (RJ).

encontrados na classe incondicionalmente estável. O PE mais elevado se encontra no cenário A1 (solo com 1 m de espessura) com aproximadamente 0,17% na classe incondicionalmente instável. Em relação à espessura do solo, o cenário A1 apresentou o maior PE em quase todas as classes (exceto a classe  $\log(Q/T) > -2.2.$ ), contudo a diferença percentual entre esses valores é muito baixa entre as classes.

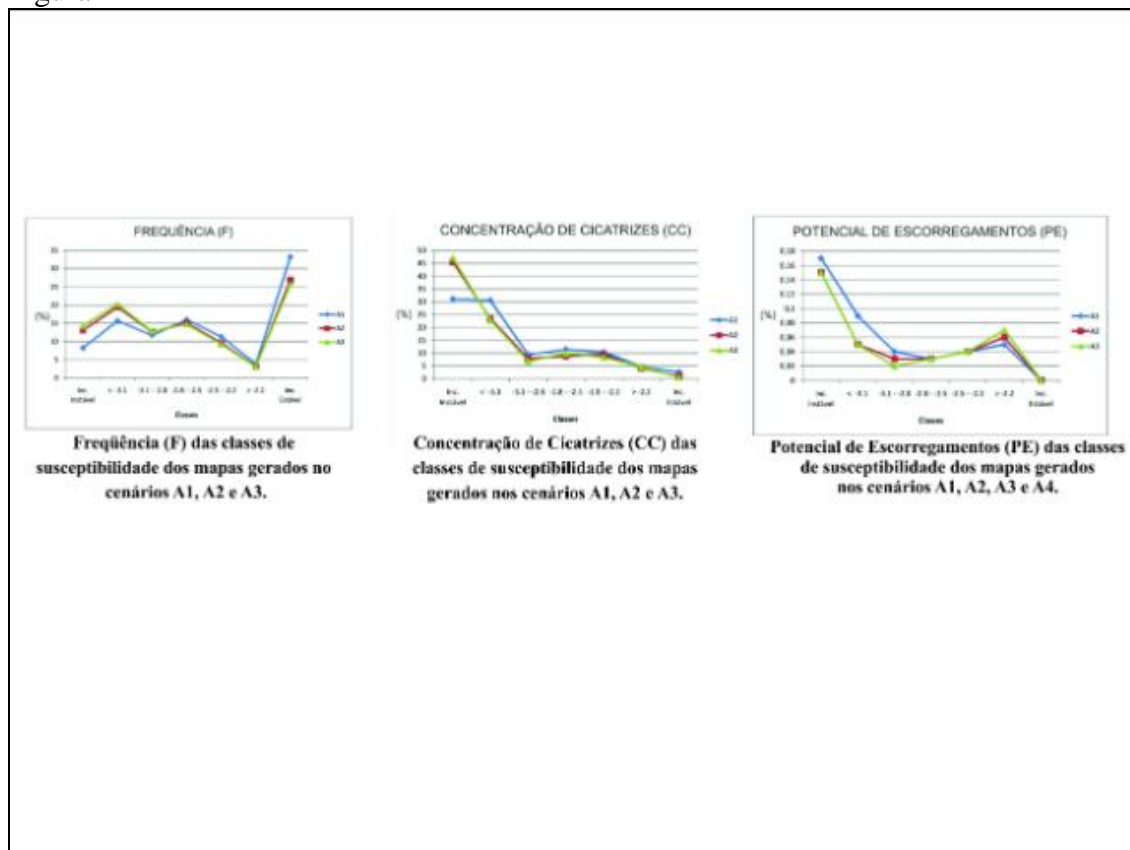
Figura 1



Cenários de susceptibilidade, respectivamente, A1, A2 e A3

# PREVISÃO DE ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS E ÁREA DE DUTOS: ESTUDO DE CASO DO MACIÇO DO TINGUÁ NA RESERVA BIOLÓGICA FEDERAL DO TINGUÁ (RJ).

Figura 2



Frequência (F), Concentração de Cicatrizes (CC) e Potencial de Escorregamento (PE)

## CONSIDERAÇÕES

Os mapas de susceptibilidade foram avaliados por meio dos índices percentuais da Concentração de Cicatrizes (CC) e do Potencial de Escorregamentos (PE). O uso exclusivo da CC pode alterar a interpretação final sobre a eficiência das análises, enquanto o uso do PE representa, de forma mais consistente, a distribuição das cicatrizes em cada categoria de análise, considerando sua representatividade na bacia. A correlação entre as classes mais críticas das categorias de análise e as cicatrizes de escorregamento foi alta, apresentando até cerca de 70% da concentração de cicatrizes na classe incondicionalmente instável (se analisada com a classe  $\log(Q/T) > -2.2$ ). Por fim, acreditamos que resultados mais consistentes poderiam ser obtidos utilizando um modelo que represente a superfície do terreno abaixo da cobertura vegetal e cuja escala espacial seja adequada à escala dos processos analisados.

## FINAIS:

PREVISÃO DE ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS E ÁREA DE DUTOS: ESTUDO DE CASO DO MACIÇO DO TINGUÁ NA RESERVA BIOLÓGICA FEDERAL DO TINGUÁ (RJ).

**REFERÊNCIAS**

**BIBLIOGRÁFICA:**

- DIETRICH, W. E.; WILSON, C. J.; MONTGOMERY, D. R.; MCKEAN, J.; BAUER, R. (1992). Erosion thresholds and land surface morphology. DIETRICH, W. E.; WILSON, C. J.; MONTGOMERY, D. R.; MCKEAN, J. (1993). Analysis of erosion thresholds, channel networks, and landscape morphology using a digital terrain model. *Journal of Geology*. v. 101, p. 259-278.
- DIETRICH, W. E.; REISS, R.; HSU, M. L.; MONTGOMERY, D. R. (1995). A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. *Hydrological Processes*. v. 9, p. 283-400.
- DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. (1998). SHALSTAB: A digital terrain model for mapping shallow landslide potential. NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement), Technical Report.
- ESRI, 1996. ARC/INFO Online Documentation. Environmental Systems Research Institute Incorporated. Redlands, CA, USA.
- FLORENZANO, T. G. (Org.) (2008). Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais. São Paulo. Oficina de Textos, 278 p.
- GAO, J. (1993). Identification of topographic settings conducive to landsliding from Nelson County, Virginia, U.S.A. *Earth Surface Processes and Landforms*. n. 18, p. 579-591.
- GOMES, R. A. T. (2002). Condicionantes Geomorfológicas e o Efeito da Escala Cartográfica na Previsão de áreas críticas a deslizamentos. Dissertação de Mestrado. UFRJ/PPGG, Rio de Janeiro. 109p.
- GUIMARÃES, R. F. (2000). Utilização de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos translacionais rasos com controle topográfico: adequação e calibração em duas bacias de drenagem. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia. UFRJ, Rio de Janeiro
- HUTCHINSON, M.F., 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology* 106, 211-232.
- MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. (1994). A physically based model for the topographic control shallow landsliding. *Water Resources Research*. v.30., p. 1153-1171.
- Montgomery, D. R.; Sullivan, K.; Greenberg, M. H. (1998) Regional test of a model for shallow landsliding. *Hydrological Processes*, 12: 943-955.
- ONU (1993). Working party on world landslide inventory. *Bulletin of the IAEG*, 41, pp.5-12.
- 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. Departamento de Geografia. UFRJ, Rio de Janeiro.