

APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB PARA MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS RASOS EM CARAGUATATUBA, SERRA DO MAR (SP)

Bianca Carvalho Vieira¹
Henrique Ramos²

Resumo: Embora a previsão de áreas instáveis a escorregamentos rasos seja essencial para a redução dos danos sociais, econômicos e ambientais, a mesma não é considerada uma tarefa simples em função da complexidade dos fatores que controlam a estabilidade das encostas. O modelo Shalstab calcula a suscetibilidade a escorregamentos rasos considerando parâmetros topográficos e do solo. Desta forma, o objetivo deste artigo consistiu na avaliação da suscetibilidade a escorregamentos rasos a partir do uso do modelo matemático Shalstab em uma bacia hidrográfica no município de Caraguatatuba (SP). Foi elaborado o Modelo Digital de Terreno (MDT) com resolução de 5 metros e utilizados valores geotécnicos de trabalhos realizados na região. Como resultados, foram mapeadas 131 cicatrizes (2,3% da área da bacia) distribuídas por todas as classes de instabilidade. Cerca de 55% das cicatrizes dos escorregamentos se concentraram nas classes mais instáveis: 16,2% (incondicionalmente instável), 12,7% ($\log Q/T < -3,1$), 11,7% ($\log Q/T -3,1$ à $-2,8$) e 14,4% ($\log Q/T -2,8$ à $-2,5$). Para mapas de suscetibilidade futuros recomenda-se o uso de parâmetros do solo especializados (profundidade, coesão e ângulo de atrito interno), podendo com isso gerar resultados mais precisos.

Palavras-chave: Shalstab; Serra do Mar; Escorregamentos; Modelo Matemático.

APPLICATION OF THE SHALSTAB MODEL FOR MAPPING SUSCEPTIBLE SHALLOW LANDSLIDES IN CARAGUATATUBA, SERRA DO MAR (SP)

Abstract: Although the prediction of shallow landslides in unstable areas is essential to reduce the social, economic and environmental damage this is not a simple task due to the complexity of the factors that control the slope stability. The mathematical model SHALSTAB calculates the susceptibility to shallow landslides considering topographic and soil parameters. Thus, the aim of this paper was to evaluate the susceptibility to shallow landslides in a watershed located in Caraguatatuba city, using the SHALSTAB mathematical model. A Digital Terrain Model (DTM) was produced with 5 m resolution and the geotechnical data used by researches conducted in the same region. As a result, 131 scars (2.3% of the basin area) were mapped and these are distributed in all classes of instability. Tests with the model showed that the decrease of the internal friction angle and cohesion had increased

-
1. Doutorado pelo Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professora do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (biancacv@usp.br).
 2. Bacharel em Geografia pelo Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo (2008.henrique@gmail.com).

significantly the unstable areas. About 55% of the scars were located on unstable classes: 16,2% (chronically unstable), 12,7% ($\log Q/T < -3,1$), 11,7% ($\log Q/T -3,1$ to $-2,8$) and 14,4 ($\log Q/T -2,8$ to $-2,5$). For susceptibility maps to be produced in the future it is recommended using soil parameters spatially distributed (soil depth, cohesion and angle of internal friction) and can will be generated more accurate results.

Key words: *Shalstab; Serra do Mar; Shallow Landslides; Mathematical Model.*

INTRODUÇÃO

Um dos principais processos geomorfológicos na Serra do Mar são os movimentos de massa, que ocorrem todos os anos, localmente, ou de forma generalizada, causando danos ambientais e sociais. Destacadamente, a partir da década de 1960, foram registrados importantes eventos considerados “catastróficos” que causaram transtornos em nível nacional, gerando milhões de dólares em prejuízos econômicos, milhares de vítimas fatais e desabrigados.

Nos dias 17 e 18 de março de 1967, no município de Caraguatatuba, especialmente nas bacias dos rios Santo Antônio e Guaxinduba, foram registrados, respectivamente, 260 mm e 324,8 mm, ou seja, cerca de 35% da pluviosidade anual daquela região (IPT, 1988). Como consequência, ocorreram escorregamentos generalizados que, após serem canalizados pela rede de drenagem, se transformaram rapidamente em corridas de detritos (Figura 1) com grande mobilização de material ocorrendo num raio variando de 7 a 15 quilômetros de extensão (Cruz, 1974; Gramani, 2001).

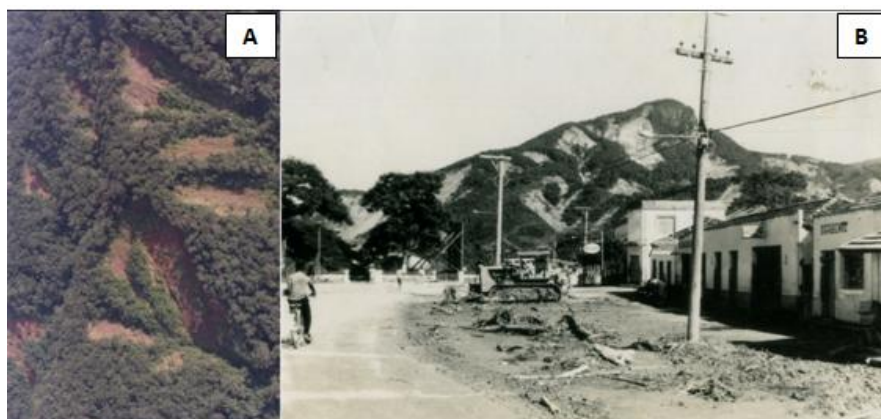


Figura 1: (A) Deslizamentos nas encostas no município de Caraguatatuba (B) Ao fundo escorregamentos nas encostas e os depósitos das corridas de detritos na área urbana do município.

Fontes: (A) Marcelo F. Gramani / IPT, SP e (B) Prefeitura Municipal De Caraguatatuba (1967).

Embora a previsão de áreas instáveis seja essencial para a redução dos danos causados por estes processos, a mesma não é considerada uma tarefa simples em função da complexidade dos fatores que controlam a estabilidade das encostas. Por isso, foram desenvolvidos diferentes métodos/ferramentas que avaliam, sob diferentes escalas, o papel dos fatores condicionantes e deflagradores. Estes métodos envolvem escalas de análises variadas, englobando desde unidades elementares da paisagem, como uma encosta, até recortes espaciais mais amplos, como bacias hidrográficas ou regiões político-administrativas (Wilkinson *et al.*, 2002; Dykes *et al.*, 2002; entre outros).

Dentre os principais métodos de previsão, destacam-se os modelos matemáticos em bases físicas que, frente aos demais métodos (ex. análises heurísticas), podem ser considerados mais objetivos em função da aplicação direta de equações que descrevem fisicamente os processos. Estes modelos têm como característica básica o uso acoplado de modelos de estabilidade de encostas e hidrológicos, com destaque para: o dSLAM - *Distributed, Physically Based Slope Stability Model* (Wu e Sidle, 1995); o SINMAP - *Stability INDEX MAPPING* (Pack *et al.*, 1998) e o SHALSTAB - *Shallow Landslide Stability Analysis* (Montgomery e Dietrich, 1994).

Nesta mesma linha de investigação, posteriormente, foram desenvolvidos o modelo TRIGRS - *Transient Rainfall Infiltration And Grid-Based Regional Slope Stability* (Baum *et al.*, 2002) e o SLIP - *Shallow Landslides Instability Prediction* (Montrasio e Valentino, 2008).

O modelo SHALSTAB calcula a quantidade de chuva necessária para a deflagração de escorregamentos, considerando o fluxo de subsuperfície paralelo à superfície, a condutividade hidráulica e a espessura do solo uniformes para toda bacia. Este modelo *foi escolhido em função da disponibilidade desses dados para o conjunto da bacia, potencializando seus possíveis resultados em diversos destes trabalhos.* Além disso, a bibliografia aponta a significativa eficiência do modelo SHALSTAB na indicação de áreas instáveis, como por exemplo os trabalhos realizados nos EUA por Montgomery *et al.* (1998), Dietrich *et al.* (1998), Savage *et al.* (2004), e em outras regiões da Europa e do Canadá, Meisina e Scarabelli (2007) e Goetz *et al.* (2011)

No Brasil, por exemplo, Michel *et al.* (2014) aplicaram os modelos SHALSTAB e SINMAP na bacia do Rio Cunha, município de Rio dos Cedros/SC, onde inúmeros escorregamentos foram

registrados em novembro de 2008. Segundo os autores, o modelo SHALSTAB apresentou melhor desempenho na identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos, sobretudo para estimativa do volume de sedimentos produzido por estes processos. Listo e Vieira (2012), em uma bacia com elevado grau de urbanização no município de São Paulo, verificaram que muitas áreas classificadas como instáveis pelo SHALSTAB coincidiram com a classe de Alto Risco mapeada em campo. Os autores correlacionaram o mapa de suscetibilidade, gerado pelo modelo, e o zoneamento de risco elaborado a partir da metodologia de Ministério das Cidades e IPT (2004). Assim, mesmo não considerando as alterações urbanas na sua estrutura matemática, o modelo pode ser aplicado em áreas ocupadas, confirmando o seu potencial como subsídio para gestão de áreas de risco. Desta forma, *o objetivo deste artigo consistiu na avaliação da suscetibilidade a escorregamentos rasos a partir do uso do modelo matemático SHALSTAB em uma bacia hidrográfica no município de Caraguatatuba.*

ÁREA DE ESTUDO – BACIA DO RIO GUAXINDUBA

A bacia do rio Guaxinduba possui cerca de 24km² (Figura 2), sendo constituída por dois importantes domínios morfoestruturais, planalto e escarpas, sendo esta última mais expressiva com forte declividade (>40%), onde predominam gnaisses, metassedimentos e feições estruturais (falhas, fraturas e foliações) bem delimitadas e com orientações, geralmente para NE-SW (AB’SABER, 1956; ALMEIDA, 1964).

Predomina na bacia a Mata Atlântica, subdividida em duas formações florestais principais: mata de encosta, com árvores altas com dossel descontínuo; e mata de altitude, que se caracteriza por ocorrer acima de 1100m. Como consequências dos escorregamentos de 1967 uma grande parte da vegetação foi remobilizada e as cicatrizes foram recobertas por vegetação rasteira e arbustiva do gênero *Gleychenia*.

Em relação ao evento pluviométrico, o verão dos meses finais de 1966 e início de 1967 foi bastante chuvoso na região sudeste do Brasil. Em dezembro foram 29 dias de chuva e em janeiro e fevereiro registraram-se precipitações todos os dias. Cruz (1974) apresenta os dados pluviométricos da fazenda São Sebastião, onde foram registrados 420 mm de chuva neste evento.

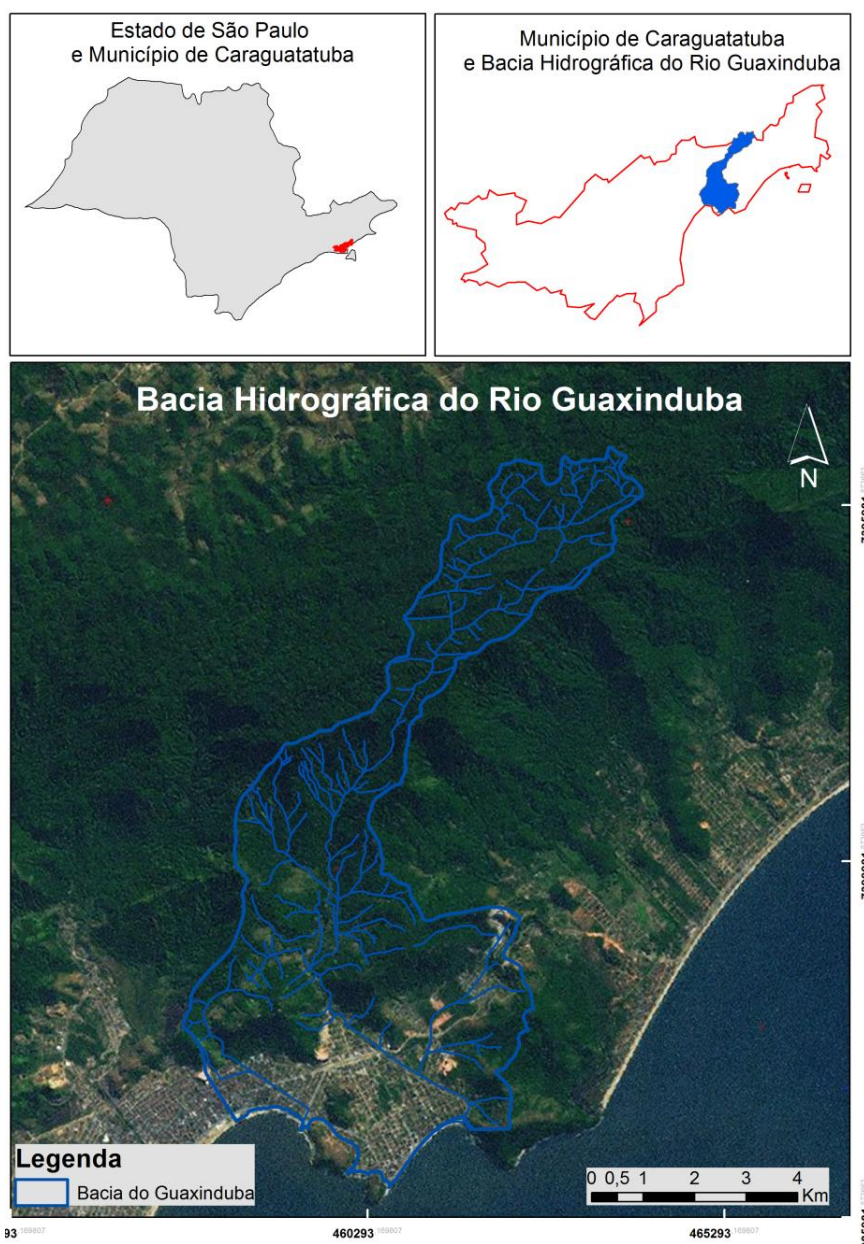


Figura 2: Localização da área de estudo (Bacia do Rio Guaxinduba).

Fonte da Imagem: Banco de Dados on line do Arcgis 10.1.

MATERIAIS E MÉTODO

Na primeira etapa metodológica, para aplicação do modelo Shalstab foi elaborado o Modelo Digital de Terreno (MDT) com resolução de 5 m a partir do georreferenciamento e da digitalização de cartas topográficas (escala 1.10.000) do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo. A partir do MDT foram gerados os mapas de *área de contribuição* e de *ângulo da encosta*.

Os valores geotécnicos de coesão, ângulo de atrito interno e densidade do solo foram retirados de De Ploey e Cruz (1979) que realizaram ensaios de mensuração em campo próximo a bacia. Sendo eles: ângulo de atrito interno (28°), coesão (5500 kg/m^2), densidade (1450 kg/km^2). O valor da profundidade do solo (2 m) foi retirado do trabalho de Wolle e Carvalho (1994) na Serra de Cubatão.

Em uma segunda etapa foi realizado o mapeamento das cicatrizes. Foram disponibilizadas imagens de 1973, contudo devido à ausência dos metadados e de referências seguras de pontos em campo, não foi possível realizar a ortorretificação. Estas imagens foram apenas georreferenciadas e utilizadas como uma referência geral. Desta forma, o mapeamento foi realizado sobre ortofotos do Instituto Florestal do ano 2000 com resolução de 0,5 m. Apesar do intervalo de 27 anos, foi possível identificar todas as cicatrizes por meio das diferenças de cores, das texturas e do aspecto alongado das cicatrizes. Com intuito de manter apenas as cicatrizes existentes desde 1967, as imagens de 1973 foram usadas como referência para eliminar as cicatrizes que surgiram nos anos posteriores. As cicatrizes destes movimentos possuem a Raiz, o Corpo e a Base, mas para localização do ponto de deflagração apenas a porção denominada de raiz foi mapeada (Figura 3).

Ressalta-se também que, mesmo que tenham sido mapeadas cicatrizes posteriores ao evento de 1967, tal fato não interfere na validação do mapa de suscetibilidade, considerando a importância efetiva dos mecanismos de ruptura dos escorregamentos independentemente da sua ocorrência temporal.

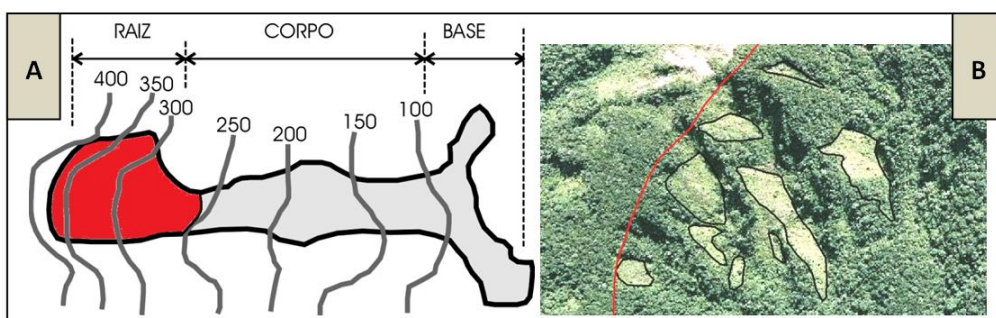


Figura 3: ((A) em vermelho a delimitação apenas da raiz do escorregamento (adaptada de Zaruba and Mencl, 1982). (B) exemplo do mapeamento das cicatrizes por meio de polígonos com linhas pretas (a linha vermelha é o limite da bacia).

Org.: Bianca Carvalho Vieira e Henrique Ramos (2015).

Em relação à análise de sensibilidade, ou seja, mensuração do grau de resposta do modelo a partir da variação em intervalos regulares para mais e para menos de cada um dos parâmetros (Hammond *et al.*, 1992), define-se um valor central, usado como parâmetro. Com base nele são definidos valores que variam em intervalos conhecidos, usualmente dados por porcentagens, como 25%, 50% e 75% para mais e para menos. O modelo então é aplicado a cada um desses novos valores, alterando um parâmetro e mantendo os demais com o valor central. Para este caso foram gerados 24 mapas de suscetibilidade, e para cada um deles foram somadas todas as classes e calculada a porcentagem destas. Desta porcentagem foi subtraído o valor encontrado pelo mapa gerado pelos valores centrais.

Finalmente para validação do modelo, foram utilizados dois índices propostos por Gao (1993): Concentração de Cicatrizes (CC), razão entre o número de células de cada classe afetadas pelas cicatrizes e o total de células afetadas na bacia, e o Potencial de Escorregamento (PE), razão entre o número de células de cada classe afetada pelas cicatrizes e o total de células dessa mesma classe.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram mapeadas 131 cicatrizes (2,3% da área total da bacia), com cerca de 60% até 1000m² e uma distribuição por todas as classes de instabilidade (Figura 4). Tais valores foram maiores do que aqueles encontrados por Vieira (2007) e Santos e Vieira (2009) na Serra de Cubatão, com variação entre 10m² e 2.704m² e maior frequência na classe entre 100m² e 200m². Essa divergência pode ser explicada pela qualidade do material cartográfico, pois estes autores utilizaram um levantamento aerofotogramétrico (filme diapositivo infravermelho colorido) realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em agosto de 1985 (4 meses após o evento) na escala 1:25.000, permitindo distinguir com relativa facilidade as cicatrizes menores.

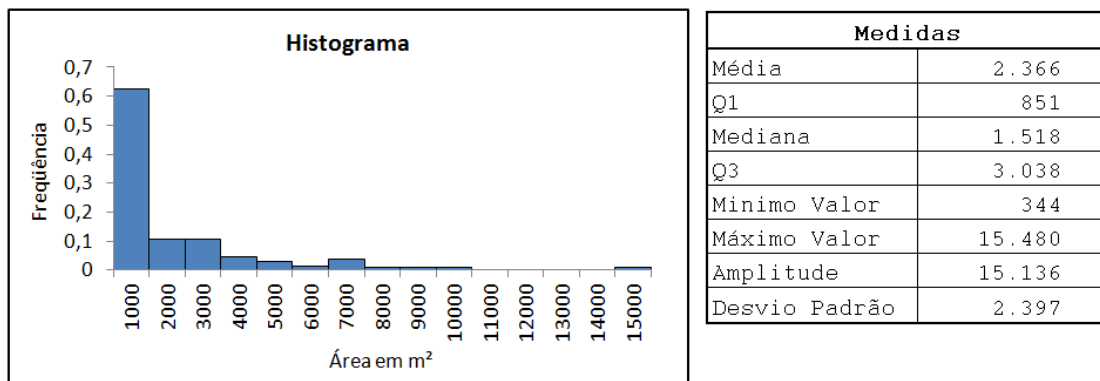


Figura 4: Histograma e dados estatísticos das cicatrizes.
Fonte: Bianca Carvalho Vieira e Henrique Ramos (2015).

Análise de sensibilidade

A Figura 5 mostra um aumento expressivo das áreas instáveis, sobretudo com a alteração dos parâmetros ângulo de atrito interno (aumento de 60% da área instável) e coesão (aumento de 30% da área instável). Esse padrão foi também encontrado por Michel *et al.* (2014), em que a análise de sensibilidade apresentou um aumento expressivo com a redução dos valores destes dois parâmetros, e uma tendência à estabilização em torno de 4%. Vale destacar que na visualização dos resultados espacializados pelo modelo, quando os valores de coesão e ângulo de atrito interno foram elevados, os mapas apresentaram áreas incondicionalmente estáveis cada vez mais expressivas, abrangendo quase a totalidade da bacia.

Com relação à profundidade do solo, variando os valores entre 0,5m e 3,5m, com ponto central em 2m, notou-se uma redução de até 15% da área instável considerando os solos mais rasos, e uma ampliação de 15% da mesma área à medida que o solo foi considerado mais profundo. A densidade do solo também apresentou tendência a se estabilizar. A amplitude de sua variação registrou apenas 13% entre o valor mais baixo e o mais alto. Foi possível notar uma redução da área instável com a redução do valor deste parâmetro.

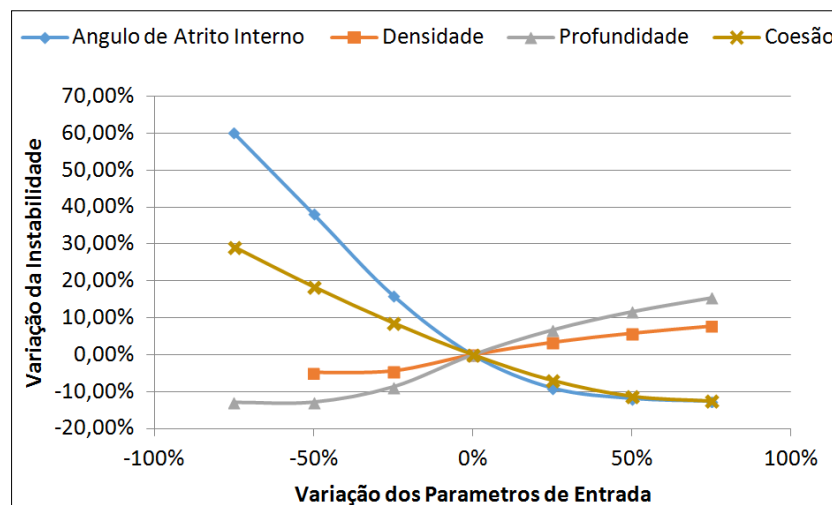


Figura 5: Análise de sensibilidade utilizando o modelo Shalstab.
Fonte: Bianca Carvalho Vieira e Henrique Ramos (2015).

Mapa de suscetibilidade

Foi identificada uma distribuição das cicatrizes por todas as classes de instabilidade geradas pelo modelo (Figura 6). Se por um lado sabe-se que as classes indicam uma suscetibilidade, e que mesmo nas classes menores é possível que tais movimentos ocorram, por outro, espera-se que boa parte das cicatrizes coincida com as classes mais instáveis. Tais afirmações partem do pressuposto proposto por Huang e Kao (2006), no qual um modelo ideal, isto é, um modelo cujos resultados são precisamente ajustados aos processos que condicionam o relevo, classifica como instável apenas as áreas nas quais houve efetivamente a instabilidade.

Em relação aos valores de Concentração de Cicatrizes (CC), cerca de 55% das cicatrizes dos escorregamentos se concentraram nas classes mais instáveis, sendo elas: 16,2% (incondicionalmente instável), 12,7% ($\log Q/T < -3,1$), 11,7% ($\log Q/T -3,1$ à $-2,8$) e 14,4 ($\log Q/T -2,8$ à $-2,5$). 45% das cicatrizes se concentraram nas classes “estáveis”, sendo elas; 16,4% (incondicionalmente estável), 10% ($\log Q/T > -2,2$) e 18% ($\log Q/T -2,5$ à $-2,2$).

As diferenças entre o planalto e as escarpas podem explicar os resultados, uma vez que o planalto concentrou uma parte da área classificada como incondicionalmente estável com a presença de cicatrizes de escorregamentos. Outra explicação seria a existência, nessa área de planalto, de cicatrizes de escorregamentos rotacionais não previstos pela estrutura matemática do Shalstab.

Os percentuais de CC são bastante similares àqueles encontrados na literatura. Na Serra de Cubatão, Vieira (2007) encontrou também valores superiores a 50% de CC nas áreas instáveis. Para alguns cenários de suscetibilidade, com variação de parâmetros geotécnicos de entrada, estes valores alcançaram cerca de 66% de acerto. Montgomery e Dietrich (1994), em estudos realizados em Berkeley (EUA), reportaram que de 83% a 100% do total das cicatrizes atingiram limites de $\log(Q/T) < -2.5$. Percentuais acumulativos um pouco menores foram obtidos por Dietrich e Montgomery (1998), que identificaram apenas 54% dos escorregamentos em valores de $\log(Q/T) < -3.1$, 68% em $\log(Q/T) < -2.8$ e 90% em $\log(Q/T) < -2.5$.

Os valores de Potencial de Escorregamento (PE), mais relevantes para validação dos mapas de suscetibilidade, por considerar o número de células de cada classe afetada pelas cicatrizes e o total de células dessa mesma classe, confirmaram a eficiência do modelo Shalstab para previsão de escorregamentos. Conforme mostra a Figura 6 foi verificado um maior percentual nas classes mais instáveis, com destaque para classe incondicionalmente instável que ultrapassou 8% para PE.

Valores bem aproximados foram verificados por Teixeira *et al.* (2014) em estudos recentes realizados na bacia do rio Tibo, noroeste de Portugal. Tais autores identificaram, utilizando o mesmo método de validação, mais de 80% de cicatrizes nas classes mais instáveis. Em relação ao PE, assim como nesta pesquisa, a classe incondicionalmente instável obteve um valor de cerca de 7% apresentando um decréscimo com o aumento das classes mais estáveis.

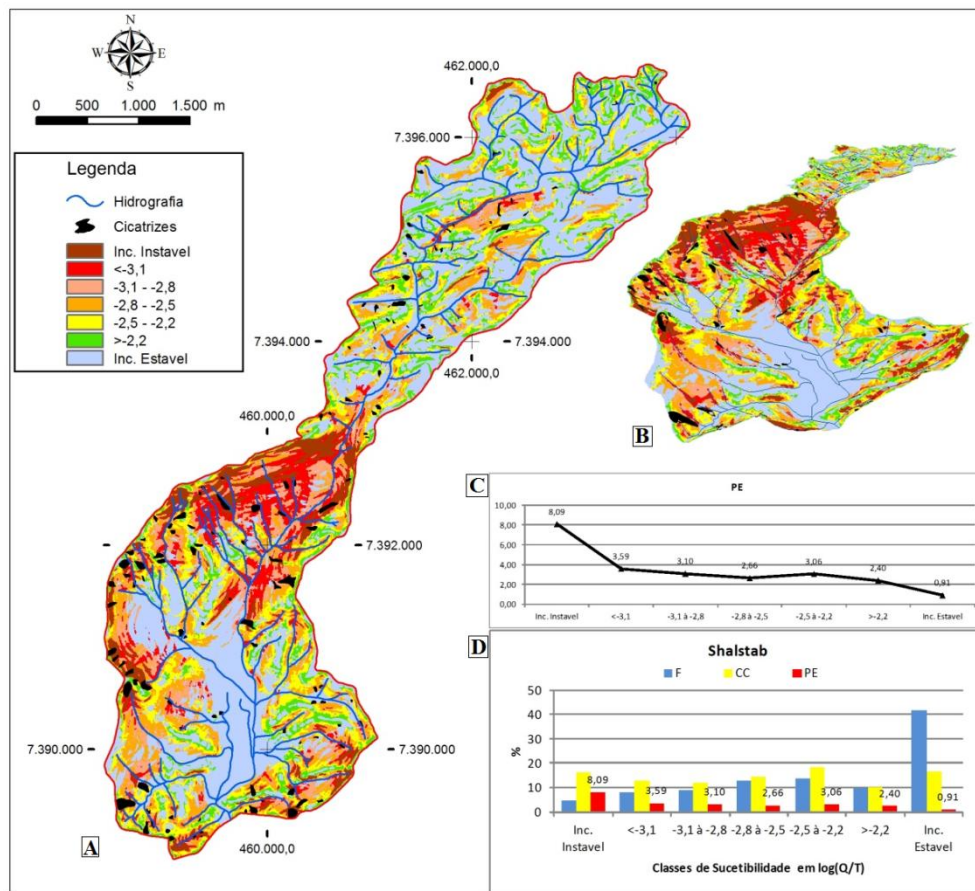


Figura 6: (A) Mapa de Suscetibilidade (visão em planta), (B) Modelo em 3D (C) Potencial de Escorregamento (PE) mostrando a maior percentual de cicatrizes nas classes mais instáveis, e (D) Frequência, Concentração de Cicatrizes e Potencial de Escorregamentos.

Fonte: Bianca Carvalho Vieira e Henrique Ramos (2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os deslizamentos são fenômenos naturais que podem causar perdas humanas e materiais quando sua ocorrência se dá nas proximidades de áreas ocupadas. Desta forma, a prevenção destes processos é fundamental para as diversas atividades humanas. Assim, uso de modelos matemáticos poderá contribuir para o melhor entendimento destes processos na Serra do Mar Paulista, e indicar áreas prioritárias para o monitoramento em tempo real das encostas direcionado ao entendimento da sua dinâmica hidrológica durante períodos de chuva.

Além disso, a realização deste trabalho justifica-se diante da necessidade do uso de métodos mais precisos e com baixo custo para geração de mapas de suscetibilidade, como suporte ao

cumprimento das principais diretrizes da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil na forma da Lei Nº 12.608 de 10 de abril de 2012.

A área de Caraguatatuba, localizada na base do escarpamento da Serra do Mar possui área construída e, dada a frequência dos eventos de escorregamentos torna-se passível de ser novamente atingida por um fenômeno semelhante. Nesse sentido, o Shalstab respondeu bem às especificidades do local e se mostrou sensível a pequenas variações dos parâmetros de entrada, contribuindo ao planejamento urbano, que pode expandir a análise ao conjunto das escarpas de maneira a subsidiar o ordenamento do território a partir de um mapa de suscetibilidade.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio financeiro do CNPq por meio de uma bolsa de estudos de iniciação científica e do Projeto Universal 14/2011 “Processos Morfodinâmicos em Ambiente Tropical Úmido: Avaliação, Modelagem e Previsão” (480515/2011-5)”. Os autores agradecem as contribuições dos pesquisadores Túlius Dias Nery (CEMADEN) e da Profa. Dra. Ligia Vizeu Barrozo (Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo). As críticas feitas pelos revisores anônimos são aqui muito agradecidas.

BIBLIOGRAFIA

- AB’ SABER, A. N. A terra paulista. Separata do Boletim Paulista de Geografia: São Paulo, nº 23, p. 5-38. 1956.
- ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista in Geologia do Estado de São Paulo, São Paulo: Boletim do IGC (41). p. 167-263. 1964.
- BAUM, R. L.; SAVAGE, W. Z.; GODT, J. W. TRIGRS: A FORTRAN Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis. USGS, Colorado, 35, 2002.
- CRUZ, O. A Serra do Mar e o litoral na região de Caraguatatuba. São Paulo: Instituto de Geografia - Universidade de São Paulo - USP, Tese de doutorado, 1974.
- De PLOEY, J.; CRUZ, O. Landslides in the Serra do Mar, Brazil. Catena: 6: 111-122p, 1979.
- DIETRICH, W.; D. MONTGOMERY. SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential. NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement), pp. 29. 1998.

- DIETRICH, W.E., R.R. D. ASUA, J.C.B. ORR AND M. TRSO. A validation study of the shallow slope stability model, SHALSTAB, in the forest lands of Northern California, Stillwater Ecosystem, Watershed & Riverine Sciences, Berkeley. 1998.
- DYKES, A.P. Weathering-limited rainfall-triggered shallow mass movements in undisturbed steep-land tropical rainforest. *Geomorphology* 46: 73-93. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00055-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00055-7), 2002.
- GAO, J. Identification of topographic settings conducive to landsliding from DEM in Nelson County, Virginia. U.S.A. *Earth surface process and landforms*, vol.18, pp.579-591. 1993.
- Goetz, J.N.; Guthrie, R.H.; Brenning, A. Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. *Geomorphology* 129: 376-386. 2011
- GRAMANI, M. F. Caracterização geológico-geotécnica das corridas de detritos (Debris flows) no Brasil, em comparação com alguns casos internacionais. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p 135 – 225. 2001.
- HAMMOND, C.; HALL D.; MILLER, S.; SWETIK P. Level I Stability Analysis (LISA) Documentation for Version 2.0. General Technical Report, 1992.
- HUANG, J.C.; KAO, S.J. Optimal estimator for assessing landslide model performance. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 10,. p. 957-965. 2006
- IPT. Estudo das instabilizações de encostas da Serra do Mar na região de Cubatão objetivando a caracterização do fenômeno de corrida de lama e da prevenção dos seus efeitos. IPT, São Paulo. 1988.
- LISTO, F.L.R. E VIEIRA, B.C. Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil. In: *Geomorphology* (Amsterdam). Volume 169, 30-44. DOI:/10.1016/j.geomorph.2012.01.010, 2012.
- MEISINA, C. E SCARABELLI, S. A comparative analysis of terrain stability models for predicting shallow landslides in colluvial soils. *Geomorphology* 87: 207-223. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.03.039>, 2007.
- MICHEL, G.P.; KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F. Comparative analysis of SHALSTAB and SINMAP for landslide susceptibility mapping in the Cunha River basin, southern Brazil. *Journal of Soils and Sediments*; DOI 10.1007/s11368-014-0886-4, 2014.
- Ministério das Cidades e IPT. Manual de treinamento de técnicos municipais para o mapeamento e gerenciamento de áreas urbanas com risco de escorregamentos, enchentes e inundações. CPRM/SGB, Rio de Janeiro. 2004.
- Montgomery, D.R., Sullivan, K. and Greenberg, M.H. Regional test of a model for shallow landsliding, pp. 943-955, 1998.
- MONTGOMERY, D.R.; DIETRICH, W.E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research* 30: 1153-1171 DOI: 10.1029/93WR02979, 1994.

- MONTRASIO, L; VALENTINO, R. A model for triggering mechanisms of shallow landslides. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 1149–1159. DOI: www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/1149/2008/, 2008.
- PACK, R. T.; TARBOTON, D.G.; GOODWIN, C.N. The SINMAP Approach to Terrain Stability Mapping, 8th Congress of the International Association of Engineering Geology, Vancouver, British Columbia, Canada 21-25 September. SINMAP computer programs], 1998.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CARAGUATATUBA. Águas de Março - Registros Históricos extraídos dos arquivos do ex-prefeito Geraldo Nogueira da Silva. Ofício – 4810/67 – Caraguatatuba, 10 de maio de 1967.
- SANTOS, W.; VIEIRA, B. C. Influência de fatores topográficos na distribuição de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar, Cubatão (SP). In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa, 2009.
- Savage, W. Z., Godt, J. W. and Baum, R. L. Modeling time-dependent areal slope stability In *Landslides: Evaluation Stabilization*. Taylor e Francis Group, Rio de Janeiro: 23-36. 2004.
- TEIXEIRA, M; BATEIRA, C.; MARQUES, F.; VIEIRA, B.C. Physically-Based shallow translational landslide susceptibility analysis in Tibo Catchment – NW of Portugal. *Landslides*. 10.1007/s10346-014-0494-9. 2014.
- VIEIRA, B.C. (2007) Previsão de Escorregamentos Translacionais Rasos na Serra do Mar (SP) a Partir de Modelos Matemáticos em Bases Físicas. Tese (Doutorado em Geografia). Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 193p.
- WILKINSON, P.L., ANDERSON, M.G. and LLYOD, D.M. An integrated hydrological model for rain-induced landslide prediction. *Earth Surface Processes and Landforms* 27: 1285-1297. DOI: 10.1002/esp.409, 2002.
- WOLLE, C. M.; C. S. CARVALHO. Taludes Naturais. In F. F. Falconi and A. N. Jr. (eds), *Solos do litoral de São Paulo*. Associação Brasileira de Mecânica de Solos - Núcleo Regional de São Paulo - ABMS, São Paulo, pp. 180-203. 1994.
- WU, W.; SIDLE, R. C. A distributed slope stability model for steep forested basins. *Water Resources Research* 31: 2097-2110. DOI: 10.1029/95WR01136, 1995.
- ZARUBA, Q.; MENCL, V. *Landslides and their control: development in geotechnical engineering*. Amsterdam: Elsevier, 1982. 324 p.

Artigo submetido em 25/07/2014

Artigo aceito em 21/01/2015