

VI

# Congresso Nacional de Geomorfologia

Geomorfologia: novos e velhos desafios



**Editores:**

Adélia Nunes

Lúcio Cunha

João Santos

Anabela Ramos

Rui Ferreira

Isabel Paiva

Luca Dimuccio

21 a 23 de fevereiro de 2013

Universidade de Coimbra

© 2013, APGeom

**Associação Portuguesa de Geomorfólogos**

Departamento de Geografia  
Faculdade de Letras da Universidade do Porto  
Via Panorâmica, s/n  
4150-564 Porto

apgeom.dir@apgeom.pt

**Editores**

Adélia Nunes  
Lúcio Cunha  
João Santos  
Anabela Ramos  
Rui Ferreira  
Isabel Paiva  
Luca Dimuccio

**Design e Formatação:**

Anabela Ramos  
Isabel Paiva  
Rui Ferreira

**Apoios:**



Associação Portuguesa de Geomorfólogos



International Association of Geomorphologists



Departamento de Geografia (FLUC)



Centro de Estudos de Geografia  
e Ordenamento do Território

**VI Congresso Nacional  
de Geomorfologia**

Departamento de Geografia  
Faculdade de Letras  
Universidade de Coimbra  
Col. S. Jerónimo  
3004-530 Coimbra

21 a 23 de fevereiro de 2013

ISBN: 978-989-96462-4-7



## SUSCETIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS SUPERFICIAIS COM RECURSO A MODELOS MATEMÁTICOS DE BASE FÍSICA (SERRA DA PENEDA)

### SHALLOW LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS USING PHYSICAL BASED MODELS (SERRA DA PENEDA)

Teixeira, Manuel, *FLUP, Porto, Portugal, mane.teixeira@gmail.com*

Bateira, Carlos, *FLUP, CEGOT-Dynat, Porto, Portugal, carlosbateira@gmail.com*

Marques, Fernando, *FCUL, Lisboa, Portugal, fmarques@fc.ul.pt*

Soares, Laura, *FLUP, CEGOT-Dynat, Porto, Portugal, lmpsoares@gmail.com*

#### RESUMO

Foram utilizados dois modelos matemáticos de base física na modelação da susceptibilidade a movimentos de vertente na Serra da Peneda (Portugal): Shalstab (shallow landslide slope stability) e FS (fator de segurança). Os parâmetros foram estimados por métodos indirectos (cálculo da coesão por retro análise) e medidos no terreno.

Foram seleccionados os cenários que têm melhor validação no âmbito de cada um dos modelos discutidos. Ambos os modelos foram validados com recurso à concentração de cicatrizes (shalstab) e a área abaixo da curva (FS). O Shalstab foi considerado o que melhor capacidade preditiva apresenta uma vez que tem o melhor cálculo do potencial de deslizamento.

#### ABSTRACT

Two physically-based models were used to assess to shallow landslide susceptibility map at Serra da Peneda (Portugal): Shalstab (shallow landslide slope stability) and SF (safety factor). The parameters used were estimated by indirect methods (cohesion by back calculation) and measured on the field.

Both models were validated using the concentration of scars ratio (SHALSTAB) and area under the curve ratio (FS). We selected the scenarios that have the best validation ratios within each of the models discussed. Finally, the SHALSTAB is considered the best option with the best predictive capacity since it has the highest landslide potential ratio.



Figura 1 – Enquadramento geral da área de estudo.

#### 1. INTRODUÇÃO

Os deslizamentos translacionais superficiais constituem um processo de instabilidade geomorfológica frequente em áreas de montanha do noroeste do território nacional, onde se registam níveis de precipitação elevados. A avaliação da sua susceptibilidade pode ser feita com recurso à aplicação de modelos distintos, designadamente modelos matemáticos de base física, embora em Portugal seja ainda muito limitada a sua utilização (VASCONCELOS, 2011; PIMENTA, 2011; TEIXEIRA, 2012; TEIXEIRA et al., 2012). Estes modelos, implicam uma escala de análise de grande pormenor e a

utilização de parâmetros relacionados com as características físicas do terreno e dos processos envolvidos, sendo a sua determinação de importância capital, com particular destaque para os parâmetros mecânicos e hidrológicos (FERNANDES et al., 2001; VIEIRA e FERNANDES, 2004; VIEIRA, 2007).

Este estudo tem como objetivo principal avaliar a suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos translacionais superficiais através de dois modelos matemáticos de base física - *Shalstab* (DIETRICH & MONTGOMERY, 1998) e *Fator de Segurança* (ABRAMSON et al., 2002) – aplicados na Bacia de Tibo (figura 1). De substrato predominantemente granítico, esta pequena bacia situa-se no sector oriental do município de Arcos de Valdevez, enquadrando-se na Serra da Peneda, apresentando um relevo extremamente acidentado com vertentes extensas de forte declive e profundo encaixe da rede hidrográfica, indiciando controlo tectónico. A precipitação assume-se como fator desencadeante destes processos, condicionados pelos declives acentuados e pelas características das formações superficiais (BATEIRA, 2001, 2010; SOARES, 2008).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Parâmetros utilizados na modelação da suscetibilidade

A modelação da suscetibilidade a deslizamentos superficiais translativos com recurso à utilização do modelo *Shalstab* e do *Fator de Segurança*, implica a utilização de um conjunto de parâmetros topográficos, mecânicos e hidrológicos. Os declive e a área de contribuição foram derivados a partir do MDE (escala horizontal de 1:10000, equidistância de 5 m e pixel 2m) gerado pelo módulo *Topo to Raster*, integrando a rede de drenagem na geração do relevo. Os parâmetros mecânicos, que correspondem sobretudo às características das formações superficiais, englobam a coesão, o ângulo de atrito interno, o peso específico e a espessura. Esta última foi medida sobre o terreno, registando-se variações entre os 60cm no topo da cicatriz até 3 metros na base dos movimentos, sendo a espessura média dominante de 1,2 metros (TEIXEIRA, 2012). O ângulo de atrito interno foi determinado no terreno, apresentando valores entre 30° e 45° (ROCHA, 1973 in MARQUES, 2010), tendo sido utilizada a mediana (32°). O peso específico das formações superficiais foi avaliado em laboratório (MATOS FERNANDES, 2006) a partir de amostras de cada um dos tipos identificados na área em estudo (perfis de alteração e depósitos de vertente com características diferenciadas), variando o seu valor entre 13,7 KN/m<sup>3</sup> e 15,7 KN/m<sup>3</sup>. A coesão foi determinada por retroanálise, de acordo com a metodologia de ABRAMSON et al. (2002), sendo utilizado o valor de 2000 N/m<sup>2</sup> (quadro 1). A determinação dos parâmetros hidrológicos, em que se destaca a transmissividade, é absolutamente fundamental para determinar áreas de maior suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos translacionais superficiais, considerando-se que a capacidade de circulação de água no solo exerce uma forte influência sobre a sua (ins)estabilidade. Esta capacidade foi medida *in situ* através da *condutividade hidráulica saturada* (K<sub>s</sub>), que corresponde à velocidade média constante percorrida pela água por unidade de tempo numa secção de solo por troca com o ar no seu interior, expressando-se o seu valor em cm/s. A medição foi efetuada com recurso ao Permeâmetro de Guelph, através do método de reservatório combinado e varia entre 0 e 3,9 · 10<sup>-3</sup> K<sub>s</sub> (TEIXEIRA, 2012). Estes valores foram associados às formações superficiais e incluídos na modelação com recurso ao fator de segurança.

Quadro: 1: Parâmetros utilizados na modelação da suscetibilidade.

Modelo	Shalstab	FS
Altura média do material instabilizado	1,2 m	1,2 m
Ângulo de atrito interno	32 graus (valor médio)	De 30 a 45 graus
Condutividade hidráulica saturada	-	De 0 a 3,9 · 10 <sup>-3</sup> K <sub>s</sub>
Coesão	2000 N/m <sup>2</sup>	De 2000 a 6000 N/m <sup>2</sup>
Peso específico	14,7 KN/m <sup>3</sup>	13,7 – 15,7 KN/m <sup>3</sup>

## 2.2. Aplicação dos modelos

Com base nos resultados obtidos relativamente aos parâmetros, os dois modelos foram aplicados na Bacia de Tibo (Peneda). Na aplicação do *Shalstab* foram considerados diferentes cenários admitindo o valor da coesão, de 2000N/m<sup>2</sup> e fazendo variar o peso específico do solo. No caso do Fator de Segurança (FS), o modelo já permite aferir a variabilidade espacial dos parâmetros utilizados (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994; DIETRICH & MONTGOMERY, 1998). Ambos os modelos foram validados tendo como referência a cartografia das áreas deslizadas. A validação da susceptibilidade por intermédio do modelo *Shalstab* baseou-se na comparação entre a cartografia dos vários cenários de susceptibilidade e os mapas das cicatrizes, tendo por base o cálculo da concentração de cicatrizes por classe de instabilidade. Isso permitiu definir qual o melhor cenário na área em estudo. O procedimento de validação dos resultados obtidos com o Fator de Segurança e a selecção da modelação mais adequada, foi efetuado através do cálculo da Taxa de Sucesso.

*Shalstab*

$$\text{Log } \frac{Q}{\bar{\gamma}} = \text{log } \frac{\sin \theta}{a/b} \left[ \frac{C}{\rho_w g \cos^2 \theta \tan \phi} + \frac{\rho_r}{\rho_w} \left( 1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \right]$$

Fator de segurança

$$FS = \frac{c' + h \times \cos^2 \beta [(1-m)\gamma_m + m\gamma_{sat}] \times \tan \phi'}{h \times \sin \beta \times \cos \beta [(1-m)\gamma_m + m\gamma_{sat}]}$$

$$m = \frac{d_{ar}}{h} = \frac{q}{\bar{\gamma}} \times \frac{a}{b \times \sin \beta}$$

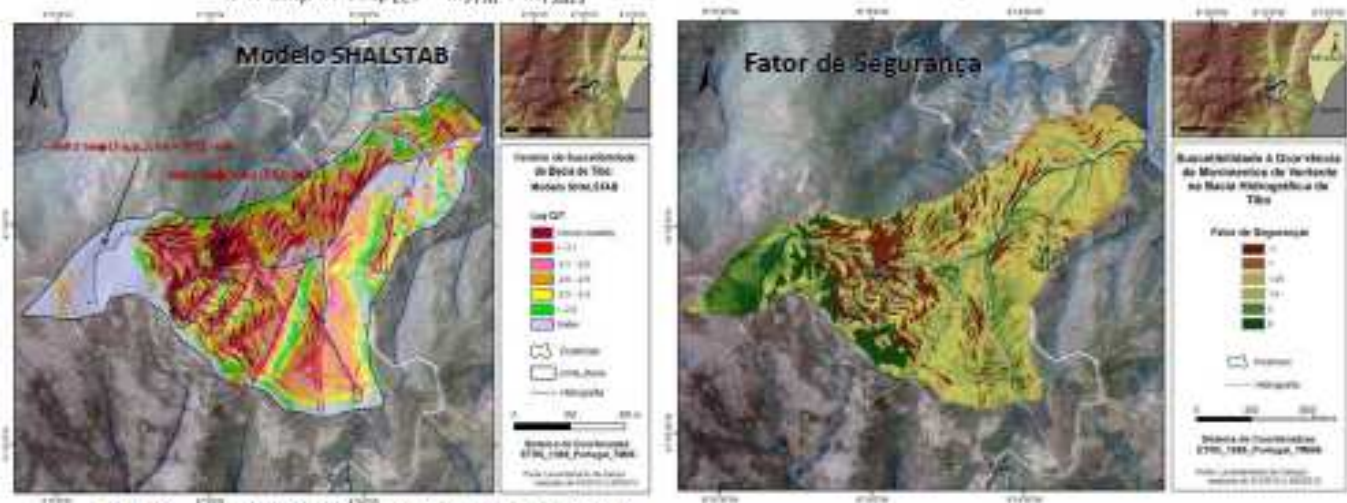


Fig. 2 - Suscetibilidade a movimentos de vertente com recurso à utilização do modelo *Shalstab* e Fator de Segurança



6,27 de PD na classe de máxima instabilidade

79,2 % de PD nas classes de instabilidade



6,46 de PD na classe de máxima instabilidade

65,7 % de PD nas classes de instabilidade

Fig. 3 - Cálculo do Potencial de deslizamento na bacia de Tibo para o modelo *Shalstab* e Fator de Segurança

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos parâmetros mecânicos, hidrológicos e topográficos foram elaborados vários cenários de suscetibilidade com recurso aos modelos matemáticos de base física (fig. 2). A análise comparativa das duas modelações com base no potencial de deslizamento (Fig. 3) permite concluir que o modelo Shalstab inclui maior área deslizada nas áreas de maior instabilidade (79,2%) sendo que o fator de segurança tem 49,09% das áreas deslizadas com  $FS < 1$ . Porém, quando a comparação é feita entre as classes de incondicionalmente instável e a de  $FS < 1$  o potencial de deslizamento é semelhante (6,27% e 6,46%, respectivamente). Contudo, se considerarmos as áreas deslizadas classificadas com  $FS =$  ou  $< 1$  a percentagem sobe para 65,7%, ainda assim bastante inferior ao potencial de deslizamento de atribuído ao Shalstab quando se consideram as todas as classes de instabilidade (79,2%).

O modelo Shalstab apresenta um melhor desempenho na modelação da susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos superficiais translativos na bacia hidrográfica de Tíbo.

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos matemáticos de base física utilizados na avaliação da susceptibilidade a movimentos de vertente apresentam um bom desempenho. Contudo, o conhecimento do comportamento do terreno, bem como do padrão de circulação de água no seu interior é fundamental para que se possa modelar/avaliar com maior exatidão e fiabilidade a susceptibilidade de uma área.

Nesse sentido, o conjunto de parâmetros utilizados deverão ser objecto de monitorização constante sobre o terreno no sentido de incorporar uma maior aderência às áreas que pretendem modelar, aumentando a capacidade preditiva.

### REFERÊNCIAS

- Abramson, L. W., Sharma, S., and Boyce, L. (2002) - *Slope stability and stabilization methods: New York*, John Wiley & Sons, Inc., 712 p.
- Bateira, C. (2001) - *Movimentos de Vertente no NW de Portugal, Suscetibilidade Geomorfológica e Sistemas de Informação Geográfica*, Tese de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Bateira, C. (2010) - Avaliação da susceptibilidade natural na região norte de Portugal. Análise prospectiva e ordenamento do território: *Prospectiva e Planeamento*, Vol. 17, pp.15-32.
- Dietrich, W., and Montgomery, D. (1998) - *Shalstab: A digital terrain model for mapping shallow landslide potencial: National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement (NCASI)*. v. Technical Report, 26 p.
- Fernandes, N., Guimarães, R.F., Gomes, R., Vieira, B., Montgomery, D., and Greenberg, H. (2001) - Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: teoria, evidências de campo e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis: *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Vol. 2, pp. 51-71.
- Marques, F. (1997) - *As Arribas do Litoral do Algarve. Dinâmica, Processos e Mecanismos*. Tese de Doutoramento em Geologia, Dep. de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Matos Fernandes, M. (2006) - *Mecânica dos solos: conceitos e princípios fundamentais*, FEUP Edições.
- Montgomery, D. R. & Dietrich, W. (1994). A Physically Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding. *Water Resources Research*, Vol. 30 (No. 4), 1153 - 1171.
- Pimenta, R. (2011). *Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Movimentos de Vertente com Métodos de Base Física*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa.

- Soares, L. (2008) - *A Importância das Formações Superficiais no âmbito dos Processos de Erosão Hídrica e Movimentos de Vertente no NW de Portugal*, Universidade do Porto.
- Teixeira, M. (2012) - *Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Deslizamentos Translacionais Superficiais. Utilização de Modelos Matemáticos de Base Física na Bacia de Tibo, Arcos de Valdevez*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto.
- Teixeira, M., Bateira, C., Soares, L., and Costa, A. (2012) - *Aplicação de Modelos Matemáticos de Base Física e Modelos Estatísticos à Cartografia de Suscetibilidade a Movimentos de Vertente na Serra da Peneda (Norte de Portugal): Atas do IX Simpósio da União de Geomorfólogos do Brasil*, UGB, Rio de Janeiro, Brasil, 4 ps
- Vasconcelos, M. (2011) - *Cartografia de Susceptibilidade à Ocorrência de Movimentos de Vertente em Contexto Urbano: o Concelho de Lisboa*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa.
- Vieira, B. (2007) - *Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas*. Tese de Doutoramento. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Vieira, B., and Fernandes, N.F. (2004) - Landslides in Rio de Janeiro: The role played by variations in soil hydraulic conductivity: *Hydrological Processes*, Volume 18, pp. 791–805.