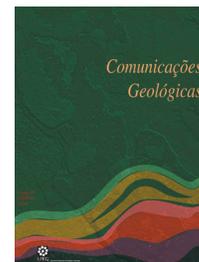


# Avaliação do risco à ocorrência de movimentos de massa: proposta de uma metodologia

## Landslides risk evaluation: proposal of a methodology

J. Pamplona<sup>1</sup>, T. Valente<sup>1\*</sup>



Artigo Curto  
Short Article

© 2014 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma abordagem metodológica simples para a avaliação e cartografia de zonas susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa. Assume-se assim como um contributo para o ordenamento do território, nomeadamente, ao nível do planeamento urbanístico e rodoviário, na medida em que gera instrumentos que podem evitar, ou pelo menos minorar, a ocorrência de acidentes com danos materiais e humanos.

**Palavras-chave:** Movimentos de massa, Susceptibilidade, Vulnerabilidade, Risco geológico.

**Abstract:** This work aims to present a simple methodological approach for the assessment and mapping of areas susceptible to the occurrence of landslides. Thus, it represents a contribution to land management, in particular regarding urban and road planning, in that it generates management tools appropriate to avoid or mitigate the occurrence of accidents with material and human damage.

**Keywords:** Landslides, Susceptibility, Vulnerability, Geological risk.

<sup>1</sup>CIG-R, Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal.

\* Autor correspondente / Corresponding author: [teresav@dct.uminho.pt](mailto:teresav@dct.uminho.pt)

### 1. Introdução

Dada a reconhecida importância em termos de danos sociais e económicos que provocam, os movimentos de massa têm sido alvo de múltiplos estudos de deteção, monitorização e de avaliação de risco (e.g. Carrasco *et al.*, 2003; Jaiswal *et al.*, 2010; Lepore *et al.*, 2012; Kirschbaum *et al.*, 2012; Yesiloglu-Gultekin *et al.*, 2012).

A abordagem que se apresenta neste trabalho baseia-se na elaboração de tabelas de avaliação quantitativa de susceptibilidade (tendo como suporte factores relacionados com a geomorfologia, geologia, hidrologia e geografia), de vulnerabilidade (factores analisados: centros populacionais, construções em *s.l.*; património construído; vias de comunicação; rede de distribuição de água e de saneamento; rede eléctrica e de telecomunicações; uso do solo) e de risco específico. Estas tabelas permitem a inclusão e análise expeditas de informação de natureza alfa-numérica e espacial, obtida a partir de bases de dados e de cartografia em suporte digital ou papel, bem como dos dados resultantes dos levantamentos de campo. As tabelas poderão, ainda, ser

aplicadas à caracterização de sectores que necessitem de uma avaliação de risco expedita. Os resultados quantitativos da aplicação destas tabelas constituem o suporte para a elaboração de mapas de susceptibilidade, vulnerabilidade e risco específico a movimentos de massa.

Tanto as tabelas, como a cartografia a elas associadas foram aplicadas, desde 2003, a diferentes concelhos do Norte de Portugal (e.g., Barcelos, Ponte de Lima, Vieira do Minho, Celorico de Basto), tendo sido sucessivamente sujeitas a pequenas melhorias, as quais conduziram à actual proposta metodológica.

#### 1.1. Enquadramento geográfico e geológico

A avaliação de risco a movimentos de massa aqui proposta envolve, conceptualmente e cartograficamente, dois níveis de hierarquização. O primeiro que inclui a susceptibilidade (S) e a vulnerabilidade (V) e o segundo, designado por risco específico (Re), o qual envolve o cruzamento da informação que provém do anterior.

A susceptibilidade (S) corresponde à incidência espacial do perigo e representa a propensão para que uma dada área seja afectada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada, através dos factores de predisposição para a ocorrência deste fenómeno. Assim, as cartas de susceptibilidade identificam e classificam áreas com propensão para serem afectadas por movimentos de massa, sendo a sua elaboração baseada em factores potenciadores e desencadeadores desta ocorrência. Num quadro de ordenamento territorial, esta cartografia é feita no sentido de evitar a extensão de áreas urbanas, a construção de rede viária e de outras infra-estruturas, a sectores com maior susceptibilidade.

De acordo com Vallejo *et al.* (2005), a vulnerabilidade (V) corresponde ao grau de danos ou perdas potenciais de um elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado da ocorrência de um fenómeno de determinada intensidade. Assim, uma carta de vulnerabilidade avalia os potenciais danos sobre os elementos expostos (e.g., pessoas e bens, infra-estruturas, actividades económicas) na eventualidade de virem a ser afectados por um acidente natural.

O risco específico (Re) (Varnes, 1984; Smith, 1996) define-se como a probabilidade de ocorrência de um acidente natural e de que este cause perdas ou danos. Por conseguinte, a avaliação do risco é realizada através da susceptibilidade (no caso de não ser possível obter dados sobre a intensidade, magnitude e frequência dos fenómenos perigosos - perigosidade) correspondente a um determinado processo e dos efeitos do mesmo sobre os elementos expostos ao perigo. Este risco pode ser reduzido, quer diminuindo a susceptibilidade, quer diminuindo a vulnerabilidade (Vallejo *et al.*, 2005). Assim, uma carta de risco específico resulta da combinação, numa proporção adequada, da susceptibilidade com a vulnerabilidade dos elementos expostos à acção de determinado processo natural.

## 2. Metodologia de abordagem

Um projecto de avaliação de riscos geológicos associados a movimentos de massa contempla as seguintes etapas:

1. uma primeira fase que passa pela aquisição de dados e análise de informação de natureza alfanumérica e espacial, constantes de bases de dados e bases bibliográficas disponíveis. Tem relevo especial neste contexto, a constituição de um acervo consistente de cariz topográfico, geológico, pedológico, e de outras naturezas, tais como, demografia, climatologia, áreas de interesse patrimonial (ecológico e geológico) e legislação ambiental vigente. O cruzamento da informação deverá ser concebido de forma a pré-seleccionar locais que evidenciem maior risco geológico potencial. A informação obtida deverá ser integrada em ambiente SIG.
2. uma segunda fase relativa à obtenção de um conjunto de novos dados que são acrescentados à informação existente. Estes incluem o reconhecimento de campo de locais pré-seleccionados e de locais em que existe um registo histórico de instabilidade de vertentes e, ainda, de outros locais de menor risco geológico potencial (escolhidos aleatoriamente e em percursos que cruzem a zona de estudo). Este levantamento de campo gera informação de natureza diversa: a) geológica (*e.g.*, graus e espessuras de alteração e ocorrência de pequenos movimentos); b) geomorfológica (*e.g.*, existência de blocos, confirmação de informação acerca de declives e formas de vertente extraída das bases cartográficas); c) geográfica, principalmente informação relativa ao uso do solo; d) sociológica, incluindo a inquirição junto das comunidades locais e dos serviços públicos acerca da ocorrência de acidentes naturais e a avaliação da sensibilidade das comunidades às implicações sócio-económicas destes fenómenos naturais.
3. uma terceira fase que resulta na integração em ambiente SIG de toda a informação obtida, na sua análise e na geração de cartografia de risco.

## 2.1. Geração de tabelas para a avaliação de movimentos de massa

### Avaliação da susceptibilidade

O modelo de susceptibilidade aqui apresentado desenvolve-se a partir do modelo proposto por Hearn (1987) e TRL (1997) referido em Hearn & Griffiths (2001). Estes autores apresentam alguns factores como o tipo de rocha, o declive da vertente, a forma e orientação das vertentes, o uso do solo e a proximidade de linhas de água. Na presente abordagem, para além destes factores, são acrescentados outros, tais como, a espessura e o grau de alteração das rochas, a ocorrência de falhas, precipitação e escoamento superficial e área ardida. Os factores que sustentam este modelo estão organizados em quatro grupos:

- a) Geomorfologia - declive da vertente; forma da vertente, extensão da vertente; orientação da vertente e existência de blocos;
- b) Geologia - grau de alteração da rocha, espessura de alteração da rocha, contacto entre litologias, ocorrência de falhas; ocorrência de pequenos movimentos/movimentos anteriores e erosão diferencial e/ou risco de erosão;
- c) Hidrologia - precipitação, escoamento superficial e proximidade de linhas de água;
- d) Geografia - proximidade de habitações e/ou vias de comunicação, uso do solo e área ardida.

A tabela 1 identifica os diferentes grupos e factores que contribuem para a elaboração da cartografia de susceptibilidade, com a respectiva atribuição de classes e pesos. Esta tabela serve assim de base à construção da carta de susceptibilidade, sendo passível de actualização, já que envolve factores em constante evolução. Neste sentido, cada alteração/actualização terá reflexos na configuração da carta de susceptibilidade.

Cada factor é dividido em classes, sendo que a cada classe é atribuído um peso ou grau de importância, cujo valor depende da relevância relativa no conjunto dos factores avaliados. Assim, o modelo de susceptibilidade consiste na construção de uma tabela contendo as várias classes dos factores que influenciam a ocorrência de movimentos de massa. O somatório dos pesos atribuídos às várias classes permite gerar a carta de susceptibilidade.

De forma a organizar numericamente e espacialmente a susceptibilidade a movimentos de massa e, assim, obter-se uma hierarquização que conduza a um zonamento cartográfico, adoptaram-se diferentes graus de susceptibilidade a que correspondem determinados intervalos/valores numéricos resultantes dos pesos atribuídos a cada um dos factores:

1. grau de susceptibilidade baixo corresponde a valores  $\leq 11$ ;
2. grau de susceptibilidade médio corresponde ao intervalo de valores 12-19;
3. grau de susceptibilidade elevado corresponde a valores  $\geq 20$ .

Esta categorização foi obtida partindo do intervalo de pesos para cada uma das classes (Tabela 1), de acordo com o seguinte procedimento baseado em casos de estudo:

- estabeleceu-se o limite inferior do grau de susceptibilidade classificado como elevado ( $\geq 20$ ) a partir da aplicação da tabela 1 em locais em que ocorreram movimentos de massa;
- aplicou-se a tabela 1 em diferentes sectores destes territórios, o que permitiu individualizar mais dois graus – baixa e média susceptibilidade.

Tabela 1. Descrição da tabela geradora de mapas de susceptibilidade.

Table 1. Description of the table generator of the susceptibility maps.

GRUPO	FACTORES	CLASSES (PESOS)
Geomorfologia	Declive*	0°-10° (0); 10°-25° (1); > 25° (3)
	Forma da vertente	Plana (0); Convexa (1); Côncava (2)
	Comprimento da vertente	≤ 50 m (1); > 50 m (2)
	Orientação da vertente	Exposição solar elevada (0); exposição solar fraca (2)
	Presença de blocos	Não (0); Sim (2)
Geologia	Grau de alteração**	W1-W2 (0); W3-W4 (1); W5-W6 (2)
	Espessura de alteração	≤ 1 m (0); > 1 m (2)
	Litologias e contactos	Não (0); Sim (1)
	Ocorrência de falhas	Não (0); Sim (3)
	Ocorrência de pequenos movimentos/movimentos anteriores	Não (0); Sim (3)
Hidrologia	Erosão diferencial e/ou risco de erosão	Não (0); Médio (1); Elevado (2)
	Precipitação anual	≤ 2000 mm (1) 2000-2400 mm (2); 2400-2800 mm (3); > 2800 mm (4)
	Escoamento superficial	≤ 1000 mm (1); 1000-1400 mm (2); 1400-1800 mm (3); > 1800 mm (4)
	Proximidade de talvegues (raio)	> 20 m (1); ≤ 20 m (2)
Geografia	Proximidade de agregados populacionais e/ou vias de comunicação	Não (0); Sim (2)
	Uso do solo	Florestal / Terrços agrícolas (0); Agrícola (1); Desflorestado (2)
	Área ardida	Não (0); Sim (2)

\*baseado em Hearn & Griffiths (2001); \*\* ISRM (1981)

A tabela geradora da carta de susceptibilidade permite assim identificar e avaliar diferentes sectores do território ao nível da sua susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa.

**Avaliação da vulnerabilidade**

Na estruturação da tabela geradora de vulnerabilidade definiram-se várias classes para os factores considerados (aglomerados populacionais; edificado; vias de comunicação; património; rede de distribuição de água; rede de telecomunicações e eléctrica; área agrícola/florestal), correspondentes aos elementos que podem vir a ser danificados ou destruídos como resultado da ocorrência de acidentes naturais, nomeadamente de movimentos de massa. O somatório de cada um das classes (ponderadas) da tabela de vulnerabilidade irá permitir gerar a carta de vulnerabilidade.

Os factores e as classes propostos nesta tabela vão de encontro a uma metodologia geral que prevê a avaliação da vulnerabilidade social, estrutural, económica, cultural e ambiental (Vallejo *et al.*, 2005). Para a estruturação desta tabela também se consultou o modelo de vulnerabilidade presente no Atlas dos Riscos Naturais e Tecnológicos dos municípios de Mirandela, Macedo de Cavaleiros e Braganças (GeoAtributo, 2008) e, ainda, da tabela de vulnerabilidade para o Concelho de Vieira do Minho (Fernandes, 2010).

Cada um dos factores da tabela geradora de vulnerabilidade é dividido em classes e a cada classe é atribuída um peso, cujo valor está de acordo com a maior ou menor fragilidade atribuída aos elementos expostos (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição da tabela geradora de mapas de vulnerabilidade.

Table 2. Description of the table generator of the vulnerability maps.

FACTORES	CLASSES (PESOS)	NOTAS
Agregados populacionais	Não (0) < dimensão (3) > dimensão (5)	Os agregados populacionais de menor dimensão incluem as pessoas que vivem na proximidade (200m) de áreas susceptíveis ou em aldeias. Os agregados populacionais de maior dimensão correspondem a vilas e cidades.
Construções s.l.	Não (0) Industrial (3) Residências e serviços (4)	O valor máximo foi atribuído à classe que integra as residências familiares e, ainda, inclui elementos estratégicos e vitais, nomeadamente, aquando da existência de situações de crise (e.g., hospitais, quartéis de bombeiros e postos da polícia).
Património construído	Não (0) Sim (3)	Edifícios públicos e privados de importância nacional e local com relevância cultural e histórica.
Vias de comunicação	Não (0) Estradas secundárias (2) Estradas principais, caminho de ferro, portos e aeroportos (4)	O valor máximo foi atribuído em função da importância estratégica destas vias no transporte de bens e serviços.
Rede de distribuição de água e de saneamento básico	Não (0) Sim (4)	Infra-estruturas de suporte às actividades humanas.
Rede eléctrica e de telecomunicações	Não (0) Sim (4)	Infra-estruturas de suporte às actividades humanas.
Uso do solo (Florestal/Agrícola)	Não (0) Sim (2)	Estas áreas são economicamente vitais para as comunidades rurais.

A definição dos graus e intervalos de vulnerabilidade inclui a análise do impacto que a quantificação dos diferentes factores teria em termos de danos e perdas. Neste sentido, para a vulnerabilidade baixa definiu-se como limite aceitável um máximo de três factores de vulnerabilidade afectados e o limite quantitativo de 6 (resultante da soma dos diferentes pesos das classes na tabela geradora). O limite máximo de factores afectados e o tecto para a vulnerabilidade média foi definido, respectivamente, em cinco e 13.

Os graus e os intervalos propostos para estudos de vulnerabilidade a movimentos de massa são os seguintes:

- grau de vulnerabilidade baixo corresponde a valores  $\leq 6$ ;
- grau de vulnerabilidade médio corresponde ao intervalo de valores 7-13;
- grau de vulnerabilidade elevado corresponde a valores  $\geq 14$ .

**Avaliação do risco específico**

A avaliação do risco específico (Re) é elaborada em função de um conjunto de classes que resultam da combinação de uma percentagem do valor de susceptibilidade e uma percentagem do valor de vulnerabilidade:

$$Re = 0,65 S + 0,35 V * cf$$

Em que Re é o risco específico, S é a susceptibilidade, V a vulnerabilidade e as constantes 0,65 e 0,35 o peso relativo, respectivamente, de S e de V, nesta análise.

Introduziu-se um factor de correcção (cf) para corrigir as diferenças entre os valores de S e de V. Atribui-se à susceptibilidade um peso maior do que à vulnerabilidade, para valorizar os factores desencadeadores dos movimentos de massa, ou seja, a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa. A vulnerabilidade assume assim menor peso, na medida em que se refere a elementos que se manifestam a jusante, ou seja, está associada à sensibilidade e fragilidade dos elementos expostos a um possível desastre natural.

### 3. Conclusões

A presente proposta metodológica está organizada em três fases que se baseiam na informação gerada por um conjunto de tabelas. Estas tabelas integram dados provenientes de levantamentos bibliográficos/cartográficos com dados de campo. A sua aplicação em contextos territoriais diversificados permite gerar mapas de susceptibilidade, vulnerabilidade e risco específico, que constituem ferramentas de ordenamento.

A experiência de utilização desta metodologia em diferentes regiões do globo, quer de clima temperado quer de clima equatorial põe em evidência os seguintes aspectos:

- complementaridade entre as aproximações de gabinete e de campo para a geração de informação essencial à avaliação de movimentos de massa;
- avaliação de distintos grupos de factores dando consistência e fiabilidade à metodologia;
- possibilidade de aplicação a nível local ou regional;
- carácter universal, pois não é afectada, no que respeita à utilização das diferentes tabelas, pela região climática em análise.

### Referências

- Carrasco, R.M., Pedraza, J., Martin-Duque, J.F., Mattera, M., Sanz, M.A., Bodoque, J.M., 2003. Hazard zoning for landslides connected to torrential floods in the Jerte Valley (Spain) by using GIS techniques. *Natural Hazards*, **30**, 361–381
- Fernandes, R., 2010. Cartografia de risco em ambiente SIG – Movimentos de massa (Vieira do Minho – Norte Portugal). Tese de licenciatura, Universidade do Minho (não publicada), 109 p.
- GeoAtributo, 2008. Atlas dos Riscos Naturais e Tecnológicos. Município de Mirandela, Macedo de Cavaleiros e Bragança. <http://www.geoatributo.com/atlas/> (consultado em 12/02/09)
- Hearn, G.J., Griffiths, J.S., 2001. Landslide Hazard Mapping and Risk Assessment. In: J.S. Griffiths, (Ed.). *Land Surface Evaluation for Engineering Practice*. Geological Society, London. *Engineering Geology Special Publications*, **18**, 43-52.
- Jaiswal, P., van Westen, C.J., Jetten, V., 2010. Quantitative landslide hazard assessment along a transportation corridor in southern India. *Engineering Geology*, **116**, 236–250.
- Kirschbaum, D.B., Adler, R., Hong, Y., Kumar, S., Peters-Lidard, C., Lerner-Lam, A., 2012. Advances in landslide nowcasting: evaluation of a global and regional modelling approach. *Environmental Earth Sciences*, **66**, 1683–1696.
- Lepore, C., Kamal, S.A., Shanahan, P., Bras, R.L., 2012. Rainfall-induced landslide susceptibility zonation of Puerto Rico. *Environmental Earth Sciences*, **66**, 1667–1681.
- Smith, K., 1996. *Environmental Hazards. Assessing Risk and Reducing Disaster*. Second Edition. Routledge, London, 389 p.
- Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C., 2005. *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, Madrid, 715 p.
- Varnes, D.J., 1984. *Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice*. UNESCO, Paris, 63 p.
- Yesiloglu-Gultekin, N., Gokceoglu, C., Sonmez, H., 2012. Geohazard reconnaissance mapping for a settlement area. *Environmental Earth Sciences*, **66**, 1653–1666.