

AVALIAÇÃO DE RISCOS GEOMORFOLÓGICOS: CONCEITOS, TERMINOLOGIA E MÉTODOS DE ANÁLISE

Garcia, R.A.C.¹; Zêzere, J.L.²

A importância atribuída à avaliação de riscos geomorfológicos, nomeadamente aos movimentos de vertente, tem vindo a aumentar nos últimos tempos, sobretudo após anos chuvosos, quando a sua frequência de ocorrência é mais significativa, por vezes com consequências desastrosas. O surgimento de mapas de riscos em alguns planos de gestão do território revela uma tomada de consciência em relação a esta problemática. Contudo, muitas destas avaliações são apresentadas, senão realizadas, de uma forma pouco consistente, pelo que os resultados apresentados pretendem apenas cumprir regulamentações e não servir como uma verdadeira fonte de auxílio e apoio a decisões racionais.

O tema dos riscos naturais é um domínio de investigação explorado em Portugal desde a década de 1960 e o interesse por parte dos organismos responsáveis pelo planeamento e ordenamento do território é ainda mais recente. Este facto justifica a dificuldade de consolidação e estabilização de uma terminologia de base e de questões conceptuais fundamentais, situação que tem sido agravada pela forma incorrecta como, por vezes, tem sido traduzida e interpretada a terminologia anglo-saxónica de referência.

No presente trabalho pretendem-se esclarecer alguns conceitos e termos relacionados com a avaliação do risco aos movimentos de vertente nas suas várias etapas: susceptibilidade (*susceptibility*), perigosidade (*hazard*), vulnerabilidade (*vulnerability*) e risco (*risk*), em que o último resulta da conjugação dos anteriores, e se pode, de forma muito simplificada, definir como a “probabilidade e severidade expectável do número de vidas perdidas, pessoas feridas, danos em propriedades ou interrupção de actividades económicas devido a um fenómeno natural particular”.

A análise das várias fases que constituem cada etapa, suas dificuldades e limitações, os conceitos de risco aceitável e tolerável, bem como algumas metodologias utilizadas, serão também abordados ao longo desta contribuição.

Palavras-chave: Susceptibilidade, Perigosidade, Vulnerabilidade, Risco, Movimentos de Vertente.

¹ Investigador no Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.

² Professor Auxiliar do Departamento de Geografia da FLUL. Investigador no Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.

1 - Introdução

Os conceitos de probabilidade de ocorrência de um fenómeno indesejado e suas consequências, e de risco, como resultado da conjugação das características do fenómeno natural e dos elementos passíveis de serem afectados (Fig. 1) são relativamente consensuais no seio da comunidade científica. Contudo, no que respeita à terminologia o mesmo não acontece, sendo frequente encontrar vários termos associados a um mesmo conceito.

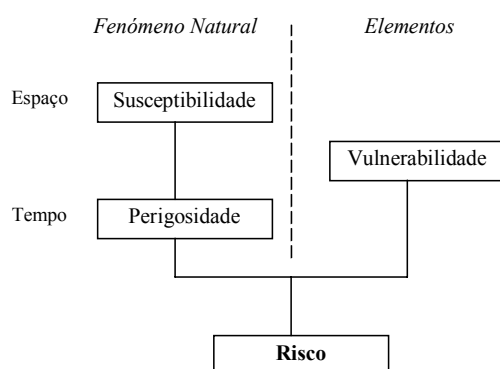


Figura 1 – Componentes do risco natural.

2 – Susceptibilidade e perigosidade

No contexto da avaliação de riscos geomorfológicos, e particularmente no caso dos movimentos de vertente, entende-se por *Susceptibilidade* (S) a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno numa dada área com base nos factores condicionantes do terreno^[10], independentemente do seu período de recorrência. Este termo difere do conceito de *Perigosidade* (P - *hazard*) que tem em conta uma probabilidade espacial e temporal^[11], ou que abrange apenas a probabilidade temporal^[4].

Os métodos de avaliação da susceptibilidade e da perigosidade podem ser agrupados em dois conjuntos: técnicas de avaliação absoluta, que incluem investigações geotécnicas e modelos determinísticos (baseados sobretudo em parâmetros e relações físicas do terreno); e técnicas de avaliação relativa, que se baseiam sobretudo na distribuição dos movimentos de vertente e seu relacionamento com os factores condicionantes. Apesar das diferenças, todos os modelos de avaliação relativa assentam em postulados similares: identificação, análise e cartografia dos movimentos; identificação do contexto geológico e geomorfológico; estimativa do contributo relativo

de cada factor; e classificação do território em áreas de diferentes graus de susceptibilidade/perigosidade. Os modelos relativos, podem subdividir-se nos de cartografia directa e de cartografia indirecta, sustentadas na análise dos efeitos ou das causas da instabilidade, respectivamente.

A cartografia directa baseia-se no levantamento geomorfológico, identificando e localizando os eventos, seus efeitos e factores que os causam ou permitem a sua expansão. Este método possibilita que, com a sua experiência, o investigador possa estimar a instabilidade, actual e potencial, através de inúmeros factores. No entanto, há que ter em conta os problemas que podem advir de uma eventual incorrecção na interpretação da informação e a elevada subjectividade dos resultados^[2], que estão fortemente condicionados pela experiência de quem realiza a avaliação.

A cartografia indirecta, que se baseia nos factores que condicionam os fenómenos, permite diminuir consideravelmente a subjectividade dos resultados, estandardizando as técnicas de aquisição, procedimento, análise e representação^[2], e possibilitando a construção de modelos. Neste tipo de avaliação destacam-se dois conjuntos de metodologias: a indexação e a análise estatística, que se subdivide em bivariada e multivariada.

A técnica de indexação assenta sobre a atribuição de valores ponderados (*scores*) aos factores de instabilidade, com base no conhecimento dos processos geomorfológicos. A principal desvantagem desta abordagem prende-se com a subjectividade na ordenação dos factores. Este método, tal como a cartografia directa, não permite a determinação do grau de incerteza dos resultados^[2, 13].

A análise estatística relaciona os factores que condicionam a instabilidade passada e presente através de uma função paramétrica empírica, possibilitando a predição quantificada e objectiva da perigosidade nas áreas ainda não afectadas por movimentos de vertente^[13], possibilitando ainda a avaliação quantitativa do ajuste do modelo aos dados e a sua capacidade preditiva.

Na estatística bivariada cada factor é combinado individualmente com a distribuição dos movimentos, sendo calculados *scores* para cada uma das classes desse factor, com base na densidade ou área abrangida^[10]. No que respeita à estatística multivariada (p.e regressão múltipla ou análise discriminante), os modelos seleccionam e ponderam os factores relevantes que melhor se correlacionam com as instabilidades. O

principal inconveniente destas análises prende-se com a dificuldade de construção de modelos próximos da realidade. Por outro lado, o facto de os modelos não se basearem em relações físicas, mas estritamente estatísticas, torna difícil a sua extrapolação para outras áreas, apesar de assentarem no pressuposto de que condições estruturais semelhantes originam tipologias de instabilidade similares, isto é, os futuros movimentos serão originados em condições geológicas e geomorfológicas idênticas às verificadas no passado e no presente^[6]. Ao proceder-se ao tratamento e análise dos dados dos movimentos estes devem ser separados por tipologia, devido a serem condicionados de modo diferente pelos factores de instabilidade, obtendo-se, deste modo, melhores resultados ^[13,14].

3 - Vulnerabilidade

O termo *Vulnerabilidade* (V), introduzido por VARNES em 1984^[4], significa o grau de danos de um elemento ou conjunto de elementos em risco (E)³, resultante da ocorrência de um fenómeno natural [movimento de vertente] com determinada magnitude ou intensidade^[11, 3]. O valor é expresso numa escala entre 0 (sem danos) e 1 (perda total ou morte, no caso do elemento ser um ser vivo). Tal como na susceptibilidade e perigosidade, a falta de consenso sobre o conceito de vulnerabilidade é uma realidade, sendo vários os sentidos e abrangências do termo, em que a definição que mais se aproxima da de VARNES (1984) é designada por vulnerabilidade em sentido restrito ou técnico, com a ressalva de que os danos são reais ou potenciais, sendo que no seu sentido mais abrangente, vulnerabilidade significa risco^[8].

Apesar da avaliação das consequências dos movimentos de vertente ser uma das etapas mais importantes na avaliação do risco, é também uma das que apresenta mais lacunas e menor desenvolvimento^[12]. Se a capacidade de identificar os elementos em risco e suas características está relativamente bem desenvolvida, a avaliação da vulnerabilidade encontra-se, em geral, num estágio primitivo^[7]. No caso de estruturas, é possível construir modelos, mais ou menos elaborados, realizando-se simulações. No entanto, na avaliação da vulnerabilidade das pessoas tudo se torna mais complicado e de análise subjectiva, mais que não seja pela dificuldade, pelo menos moral e ética, de expressar numericamente o valor de uma vida^[6].

³ *Elementos em risco* (E) – população, propriedades e actividades económicas, incluindo serviços públicos, etc., em risco numa determinada área^[11, 8].

A análise da vulnerabilidade gera a necessidade de compreender a interacção entre os fenómenos perigosos e os elementos expostos^[8]. A dificuldade em transpor as diferentes susceptibilidades em percentagens de danos, de forma simples e satisfatória, origina que esta avaliação se realize, geralmente, com base em opiniões subjectivas^[12].

Idealmente, a estimativa da vulnerabilidade deveria considerar as características do movimento de vertente (tipo, volume, velocidade, etc.), do elemento em risco (tipo, dimensão, construção, estado de conservação, entre outros) e a capacidade da estrutura ou infra-estrutura para resistir ao fenómeno perigoso^[1]. No entanto, a complexidade dos movimentos de vertente, elementos expostos e seu posicionamento (a montante ou jusante do movimento) originam um carácter muito variado e disperso, no espaço e no tempo, dos danos associados^[8, 12]. De facto, o mesmo elemento pode suportar bem um tipo de movimento e ser completamente destruído por outro (p.e: uma estrada suporta um desabamento mas um deslizamento pode destruí-la), bem como determinado movimento pode ser muito perigoso para um elemento e inofensivo para outro (p.e: um deslizamento relativamente lento é de alto risco para uma casa mas relativamente inócuo para um indivíduo).

A figura 2 representa os diversos componentes da vulnerabilidade, tipologia de danos potenciais e factores influentes. Assim, de acordo com o tipo de elementos em risco (bens ou propriedades, incluindo estruturas e potencial ambiental dos terrenos; actividades e funções; pessoas), também os danos se podem classificar como: estruturais, funcionais e corporais. Os danos corporais dependem da intensidade do fenómeno natural e da sensibilidade intrínseca e extrínseca do indivíduo. Como sensibilidade intrínseca entendem-se os factores perceptivos (percepção do perigo), cognitivos (saber como se proteger) e a mobilidade (nível de mobilidade do indivíduo quando deparado com o perigo). Os factores físicos de protecção (estruturas que rodeiam a pessoa em perigo) e as circunstâncias técnicas e funcionais (eficiência dos sistemas de alerta, evacuação, primeiros socorros, tratamento médico, entre outros) representam a designada sensibilidade extrínseca. Em termos estruturais, a intensidade do fenómeno e a capacidade de resistência da estrutura ao *stress* mecânico gerado pelo movimento de vertente, são os factores mais influentes. As perturbações funcionais dependem dos danos estruturais (factores técnicos) e corporais (factor humano), das funções secundárias que garantam a actividade em questão (factor funcional), bem

como da capacidade de restauração dos danos pela sociedade (factores social, económico, institucional e político-administrativo). Ao contrário do que acontece com os danos corporais e estruturais, os danos funcionais só muito raramente são avaliados, devido, quer ao seu carácter disperso e complexo, quer à frequente falta de balanços de consequências^[8].

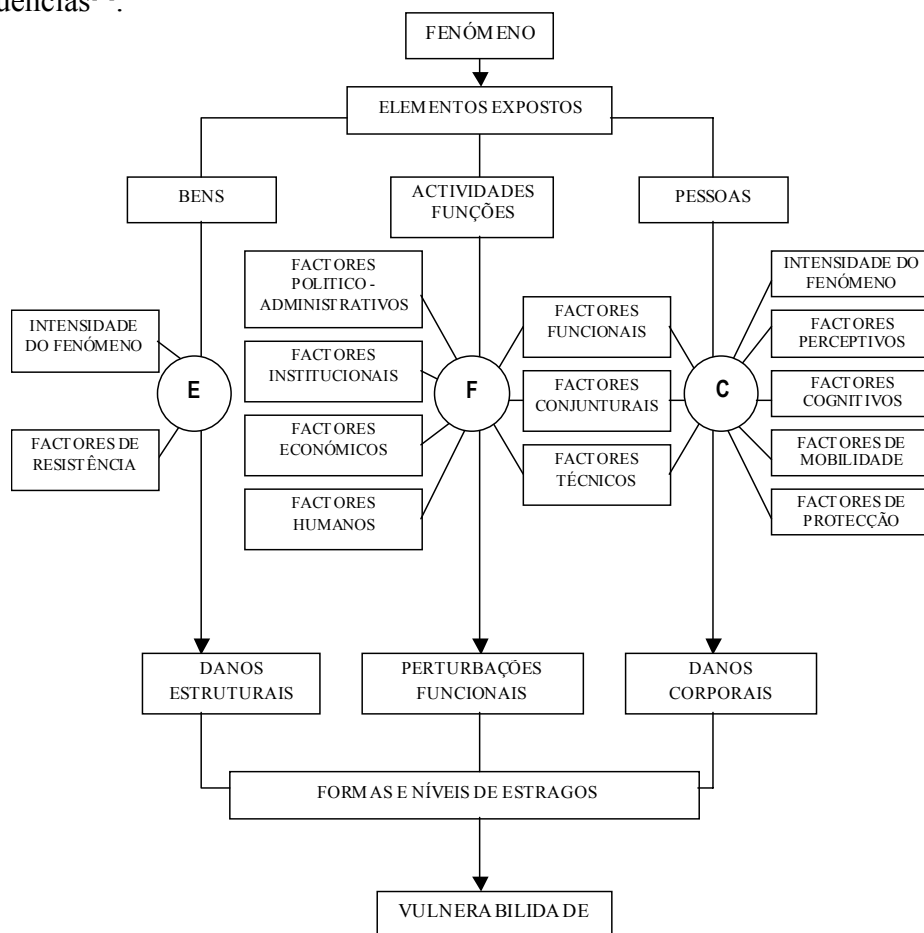


Figura 2 – Componentes, danos associados e factores influentes da vulnerabilidade^[8].

A definição da intensidade dos fenómenos é uma etapa essencial neste tipo de análise. No entanto, se a recolha da morfometria de algumas manifestações já não é tarefa simples, a caracterização dos seus parâmetros cinéticos (velocidade, aceleração do fluxo,...) e mecânicos (viscosidade, densidade da massa deslizada, etc.) é ainda mais complexa, quando não impossível de quantificar.

Os métodos utilizados na avaliação da vulnerabilidade podem ser qualitativos ou quantitativos, e agrupam-se em quatro tipos distintos^[12]:

a) Abordagem directa – avaliação directa das consequências baseada na experiência e opinião de técnicos, sem referência aos componentes do cenário. Esta abordagem é

usualmente aplicada quando os factores intervenientes são demasiado complexos para avaliar sistematicamente e/ou quando as experiências passadas permitem uma opinião sensata. Em geral, obtém-se uma classificação qualitativa, sendo os seus resultados limitados quando em análises individuais;

b) “Árvore de Eventos” (*Event Tree*) – desenham-se, usando as técnicas das árvores de lógica, hipóteses de combinações para cada componente do cenário, atribuindo-se a cada uma delas uma probabilidade. O objectivo é identificar os cenários mais prováveis e os danos que lhes estão associados. Este método é útil, principalmente, em fenómenos muito complexos;

c) Modelo de consequências – envolve o conjunto de factores que condicionam o movimento de vertente e as suas consequências. Implica o desenvolvimento de cenários que poderão ocorrer e o cálculo de probabilidades de ocorrência. Estes modelos são flexíveis e podem efectuar-se num vasto número de situações;

d) Diagrama de influências – tem como objectivo mostrar as interacções entre factores. Em termos gerais, é semelhante à abordagem da árvore de eventos, mas com metodologias de quantificação e representação gráfica diferentes. Este método tem a vantagem de englobar na análise a avaliação das incertezas.

4 – Risco

O termo *Risco* (R), entendido como probabilidade e severidade expectável do número de vidas perdidas, pessoas feridas, danos em propriedades ou interrupção de actividades económicas devido a um fenómeno natural particular^[11, 5, 7] é frequentemente mal interpretado e mal aplicado.

O *Risco Específico* (Rs) é muitas vezes estimado com base no produto entre a perigosidade (P) e a vulnerabilidade (V)^[7, 9]:

$$R_s = P * V$$

O *Risco Total* (Rt) obtém-se acrescentando o valor do elemento em risco ao produto anterior, devendo ser determinado para cada elemento em risco:

$$R_t = R_s * C \text{ ou } R_t = P * V * C$$

onde C corresponde ao valor do elemento em risco.

A abordagem completa do risco engloba três fases: Análise, Avaliação e Gestão (Fig. 3). A análise do risco corresponde à etapa em que, com base na informação disponível, se estima o risco a que os diversos elementos estão expostos. Em geral a análise do risco engloba a definição dos objectivos de estudo, a identificação dos tipos de perigo e a análise da frequência temporal e das consequências.

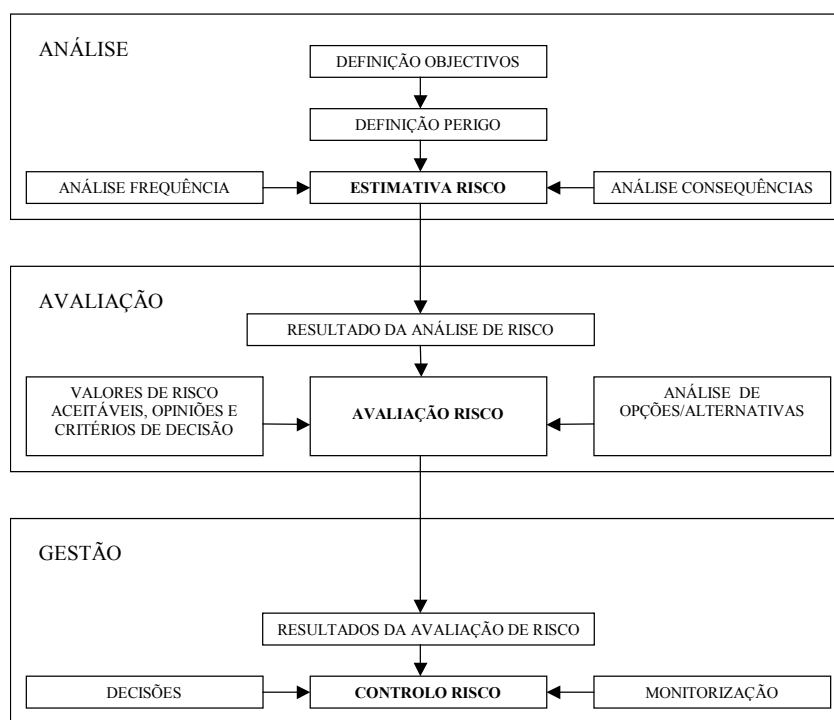


Figura 3 – Etapas do processo de estudo do risco^[5].

Quando se têm em conta opiniões (explícitas ou implícitas) nos processos de decisão, incluindo considerações sobre a importância do risco estimado para os elementos em risco, com o intuito de identificar opções e alternativas para a sua diminuição, o que se realiza é uma avaliação do risco. Nesta etapa há também a definição dos níveis de risco aceitável e tolerável⁴, e a sua comparação com o risco estimado, seja em termos de perdas de vida, financeiros ou socio-ambientais. Sempre que se fala em risco está implícito que há um nível de aceitação ou tolerância bem presente que, no entanto, raramente é avaliado e indicado. A definição dos limiares dos

⁴ *Risco Aceitável* – risco que se aceita facilmente, quer em perdas de vida quer económicas, sem preocupações com a sua gestão. Em geral a população considera que os gastos necessários para o controlo do risco são injustificados ^[5, 7].

Risco Tolerável – risco com o qual a sociedade aceita viver por ter alguns benefícios com isso mas com a condição de que se está a efectuar um controlo eficiente, constantemente verificado, e que, sempre que possível, o risco é mitigado ^[5, 7].

níveis de aceitabilidade não é tarefa simples, visto que estes podem variar de indivíduo para indivíduo e de sociedade para sociedade. Para além disso, mesmo quando o risco ultrapassa o intolerável, há quem não queira abandonar as suas terras e bens, o que torna o processo mais complexo. Após as etapas anteriores, decidem-se quais as políticas e/ou técnicas de mitigação a adoptar e avalia-se a sua eficácia ao longo do tempo, através do controlo do risco.

5 - Conclusão

O processo de avaliação do risco pode efectuar-se de uma forma qualitativa, adquirindo informação de susceptibilidade ou perigosidade, elementos em risco e suas vulnerabilidades, expressando esse conhecimento qualitativamente, geralmente em classes ordenadas, de uma forma verbal ou cartograficamente. Quando se inserem expressões quantitativas nos dados de entrada, mesmo que estes sejam obtidos empiricamente, então realiza-se uma análise quantitativa do risco^[7]. Esta avaliação não tem que se basear em dados numéricos exaustivos, mas sim rigorosos e o mais detalhados possível. Por conseguinte, é importante que estas análises sejam efectuadas por técnicos qualificados e experimentados, e que os resultados sejam verificados. A estrutura da análise quantitativa do risco é idêntica à qualitativa, residindo a grande diferença no cálculo de probabilidades. O uso de expressões matemáticas tem a vantagem de facilitar o confronto entre riscos e medidas de mitigação.

A gestão dos riscos no quadro do Ordenamento do Território implica que haja uma percepção cultural, económica e política dos fenómenos envolvidos, pelo que qualquer mapa regulador deve ser baseado num consenso entre técnicos e decisores que defina o nível de protecção requerido^[9]. Assim, a gestão do risco torna-se um processo multidisciplinar que envolve (ou deve envolver) investigadores, planeadores, economistas, populações, organizações, seguradoras e políticos. Deste modo, uma colaboração e coordenação entre as diversas áreas de conhecimento é fundamental no processo de gestão do risco.

Quando ocorre um desastre, grande parte da crise que se instala está relacionada com a falta de preparação e com dificuldades de comunicação entre os diferentes operadores: técnicos, planeadores, jornalistas, população afectada, etc. Estes intervenientes têm preocupações e conhecimentos individuais diferenciados, não

estando preparados, de igual forma, para lidar com os danos e responsabilidades. Ensinar e implementar uma cultura de risco entre todos os envolvidos é aconselhável, para que se possam minimizar e mitigar as consequências de qualquer fenómeno natural.

Agradecimentos

Este trabalho faz parte do Projecto comunitário “Assessment of Landslide Risk and Mitigation in Mountain Areas, ALARM” (contract EVG1-CT-2001-00038).

Bibliografia

- CARDINALI, M.; REICHENBACH, P.; GUZZETTI, F.; ARDIZZONE, F.; ANTONINI, G.; GALLI, M.; CACCIANO, M.; CASTELLANI, M.; SALVATI, P. (2002). A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, pp. 57-72. [1]
- CARRARA, A. (1993). Uncertainty in evaluating landslide hazard and risk in NEMEC, J.; NIGG, J. M.; SICCARDI, F. (Eds) *Predictions and Perception of Natural Hazards*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. pp. 101-109. [2]
- COBURN, A. W.; SPENCE, R. J. S.; POMONIS, A. (1994). *Vulnerability and Risk Assessment*. Disaster Management Training Programme, 69 p. [3]
- EINSTEIN, H. H. (1997). Landslide risk – Systematic approaches to assessment and management in CRUDEN, D.; FELL, R. (Eds.) *Landslide Risk Assessment*. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment. A. A. Balkema, pp. 25-50. [4]
- FELL, R.; HARTFORD, D. (1997). Landslide risk management in CRUDEN, D.; FELL, R. (Eds.) *Landslide Risk Assessment*. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment. A. A. Balkema, pp. 51-109. [5]
- GARCIA, R. A. C. (2002). *Avaliação do Risco de Movimentos de Vertente na Depressão da Abadia (Torres Vedras)*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ambiente apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 140 p., Lisboa. [6]
- INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES - WORKING GROUP ON LANDSLIDES (1997). Quantitative risk assessment for slopes and landslides – The state of the art in CRUDEN, D.; FELL, R. (Eds.) *Landslide Risk Assessment*. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment. A. A. Balkema, pp. 3-12. [7]
- LÉONE, F. (1996). *Concept de Vulnérabilité appliqué a l'évaluation des Risques générés par les phénomènes de Mouvements de Terrain*. Thèse Doctorat de l'Université Joseph Fourier. Grenoble I. Documents du BRGM 250. Éditions BRGM. 286 p., Orléans. [8]
- LEROI, E. (1997). Landslide risk mapping: Problems, limitations and developments in CRUDEN, D.; FELL, R. (Eds.) *Landslide Risk Assessment*. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment, A. A. Balkema, pp. 239-250. [9]
- SOETERS, A. S.; VAN WESTEN, C. J. (1996). Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation in TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. (Eds.) *Landslides. Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board. Special Report 247. National Academy Press, pp. 129-177. [10]
- VARNES, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, 63 p., Paris. [11]
- WONG, H. N.; HO, K. K. S.; CHAN, Y. C. (1997). Assessment of consequence of landslides in CRUDEN, D.; FELL, R. (Eds.) *Landslide Risk Assessment*. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment. A. A. Balkema, pp. 111-149. [12]
- ZÊZERE, J. L. (1997). *Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física apresentada à Universidade de Lisboa, 575 p., Lisboa. [13]
- ZÊZERE, J. L. (2002). Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, pp. 73-82. [14]