

Deliverable E 2.2.2: Relatório técnico sobre elementos expostos

A deliverable of GT2: Cartografia de risco para o ordenamento do território e proteção civil

Activity 2.2: Avaliação da exposição e vulnerabilidade

Due date of deliverable: 30/09/2020

Actual submission date: 18/09/2020

Lead contractor for this deliverable: IGOT-ULISBOA

Autores

José Luís Zêzere, Ricardo Garcia, Sérgio Oliveira, Susana Pereira, Pedro Santos, Raquel Melo, Eusébio Reis



ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 3 |
| 2. TIPOLOGIA DE ELEMENTOS EXPOSTOS..... | 5 |
| 3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO E DE PERDAS POTENCIAIS..... | 8 |
| 3.1. INTRODUÇÃO | 8 |
| 3.2. BASES DE DADOS E INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA | 10 |
| 3.3. TIPOLOGIA, DISTRIBUIÇÃO DAS ESTRADAS E DOS EDIFÍCIOS | 12 |
| 3.4. REGISTO DE DANOS EM ELEMENTOS EXPOSTOS CAUSADOS POR MOVIMENTOS DE VERTENTE | 15 |
| 4. RESULTADOS - EXPOSIÇÃO A MOVIMENTOS DE VERTENTE E PERDAS POTENCIAIS..... | 17 |
| 5. CONCLUSÕES | 29 |
| 6. BIBLIOGRAFIA | 30 |

1. INTRODUÇÃO

O GT2 tem por base o desenvolvimento de ferramentas cartográficas de prevenção de riscos para aplicação no ordenamento do território e planeamento de emergência. As principais ferramentas a desenvolver incluem a criação e atualização de cartografia de perigosidade, exposição, vulnerabilidade e risco associados às regiões costeiras SUDOE, adaptadas a diferentes cenários de risco futuros previstos pelas alterações climáticas.

A Atividade 2.2 - Avaliação da exposição e vulnerabilidade, do GT2 do projeto RISKCOAST baseia-se na exploração dos dados censitários disponíveis. Pretende-se dessa forma uma quantificação da exposição, contabilizando o número de pessoas, edifícios (alojamentos) e extensão de redes, localizadas nas áreas de suscetibilidade/perigosidade elevada e muito elevada (avaliadas na atividade 2.2.1). Na análise de exposição são consideradas as populações residentes, mas também a população flutuante associada às dinâmicas do turismo nas regiões costeiras do SUDOE. Adicionalmente são alvo de tratamento diferenciado os elementos expostos estratégicos, vitais e sensíveis, fundamentais para a resposta à emergência (e.g. rede hospitalar e de saúde, rede escolar, equipamentos dos agentes de proteção civil) e de suporte básico às populações (e.g. rede viária fundamental, reservatórios e redes de abastecimento de água, rede elétrica).

O principal objetivo do presente relatório técnico (E.2.2.2) é definir o conjunto de procedimentos necessários à inventariação dos elementos expostos na área de estudo SUDOE da bacia do Rio Grande da Pipa (GPR basin) (Fig. 1).

A coordenação da GT2 é assegurada pela equipa IGOT-ULISBOA que estabelecerá os procedimentos metodológicos de produção de ferramentas cartográficas de prevenção de riscos. A aplicação destas metodologias às diferentes áreas de estudo será desenvolvida posteriormente por cada um dos beneficiários participantes na GT2. A equipa IGOT-ULISBOA assegura a cada um dos beneficiários o apoio técnico necessário à aplicação das metodologias propostas.

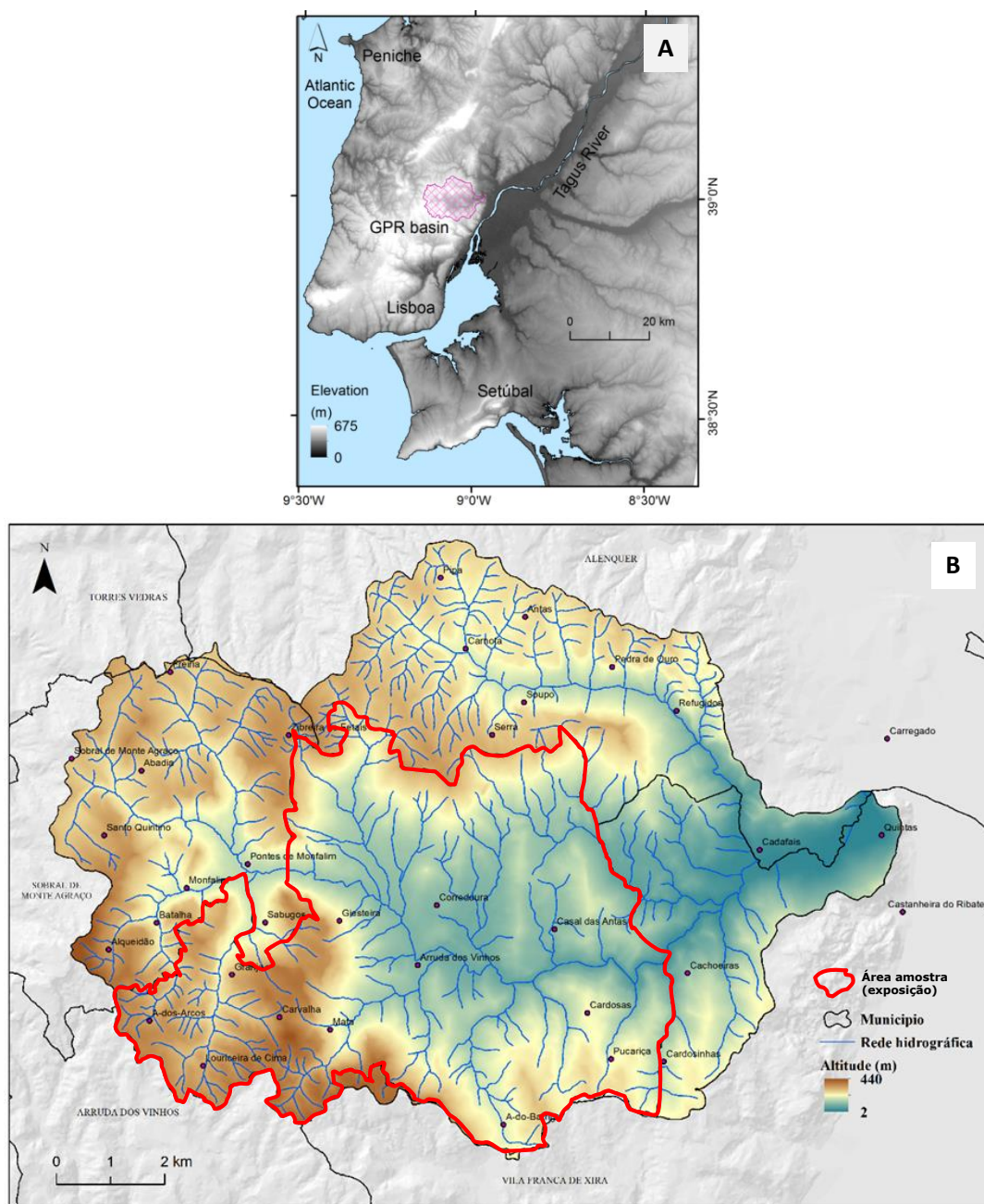


Figura 1 – Enquadramento geográfico da bacia do Rio Grande da Pipa (RGP). A área delimitada a vermelho foi utilizada para avaliar a exposição a movimentos de vertente.

2. TIPOLOGIA DE ELEMENTOS EXPOSTOS

A determinação da vulnerabilidade de um qualquer elemento ou conjunto de elementos expostos à ocorrência de movimentos de vertente (elementos em risco) constitui uma etapa essencial no quadro da avaliação do risco (e.g., Léone et al., 1996, Kang e Kim, 2016). Os elementos expostos, neste contexto, servem de base à estimativa dos graus de perda expectáveis (vulnerabilidade), salientando Garcia (2012) que: i) um elemento não é vulnerável se não for afetado por nenhum perigo; ii) um perigo só causa risco se afetar um elemento; iii) o risco depende do grau de exposição do elemento.

Os elementos expostos têm sido agrupados genericamente em três conjuntos (Figura 2; Léone, 1996; Crozier e Glade, 2005; Garcia, 2012; Puissant et al., 2013):

- i) Pessoas (que residem, trabalham ou se deslocam na área exposta).
- ii) Bens e propriedades (e.g., edifícios, veículos);
- iii) Serviços/funções (e.g., abastecimento de água, eletricidade, gás, transportes, comunicações).

a) Pessoas

Os indivíduos e as suas comunidades constituem os elementos expostos mais relevantes. Num dado momento e espaço, considera-se na avaliação da exposição a presença permanente de pessoas (população residente) e a presença transiente de pessoas (população presente ou flutuante). A sua vulnerabilidade será determinada pelos danos corporais nas pessoas que por exemplo vivem, trabalham ou circulam numa determinada área potencialmente perigosa, sendo caracterizadas pela sua idade, género, necessidades especiais, condição económica, educação, pertença étnica, entre outros factores que condicionam a vulnerabilidade (Michael-Leiba et al., 2000; Cardinali et al., 2002; Cutter et al., 2003; Bell e Glade, 2004).

Os danos corporais (consequências humanas diretas) dependem sobretudo de fatores intrínsecos ao indivíduo ou comunidade, por exemplo, a perceção da sua exposição, o conhecimento das medidas a tomar, a mobilidade, a idade e a saúde. Outros fatores condicionam a capacidade de recuperação na situação pós-desastre, como sejam, o género, a condição perante o emprego, o nível de educação e as condições económicas. É de

salientar que as pessoas mais idosas, as crianças ou com saúde debilitada, independentemente do contexto económico familiar em que residem, constituem em todos os casos, por si só, elementos expostos de maior vulnerabilidade (Tapsell et al., 2002).

b) Bens e propriedades

Relativamente aos bens e propriedades, os elementos expostos considerados consistem frequentemente na identificação e localização de edificações, principalmente aquelas que desempenham a função habitacional. Quanto a estes elementos, a avaliação da vulnerabilidade tem-se focado essencialmente na avaliação dos danos estruturais, isto é, a vulnerabilidade depende fundamentalmente da relação entre a resistência estrutural do elemento e a intensidade do fenómeno (e.g., Garcia, 2012). Os elementos expostos mais utilizados na avaliação da vulnerabilidade física são os edifícios (e.g., Bell e Glade, 2004; Fuchs et al., 2007; Uzielli et al., 2008; Zêzere et al., 2008; Kappes et al., 2012; Fuchs et al., 2015; Oliveira et al., 2016; Ettinger et al., 2016; Ciurean et al., 2017; Pereira et al., 2017; Soldato et al., 2017; Peduto et al., 2017).

A interação entre movimentos de vertente e áreas urbanas tem ganho relevância nas últimas décadas com custos/impactos muito significativos, quer do ponto de vista físico, quer do ponto de vista social e económico (Antronico et al., 2015). O impacto socioeconómico provocado pelos movimentos de vertente tem sido agravado atendendo ao grau de dispersão/difusão de construções em áreas suscetíveis a movimentos de vertente (Schuster e Highland, 2007).

c) Serviços, redes e funções vitais

Nesta tipologia de elementos expostos incluem-se todos os elementos representados espacialmente por edificações e redes, que desempenham serviços e funções vitais para a continuidade das atividades humanas durante e pós-desastre (Antronico et al., 2015). Tal como se referiu relativamente ao edificado para fins habitacionais, estes serviços e redes, na lógica de processos de expansão urbana, têm vindo a ocupar áreas de elevada suscetibilidade, no caso concreto da área de estudo na região a norte de

Lisboa relativamente aos movimentos de vertente (e.g., Zêzere et al., 2007; Oliveira et al., 2016).

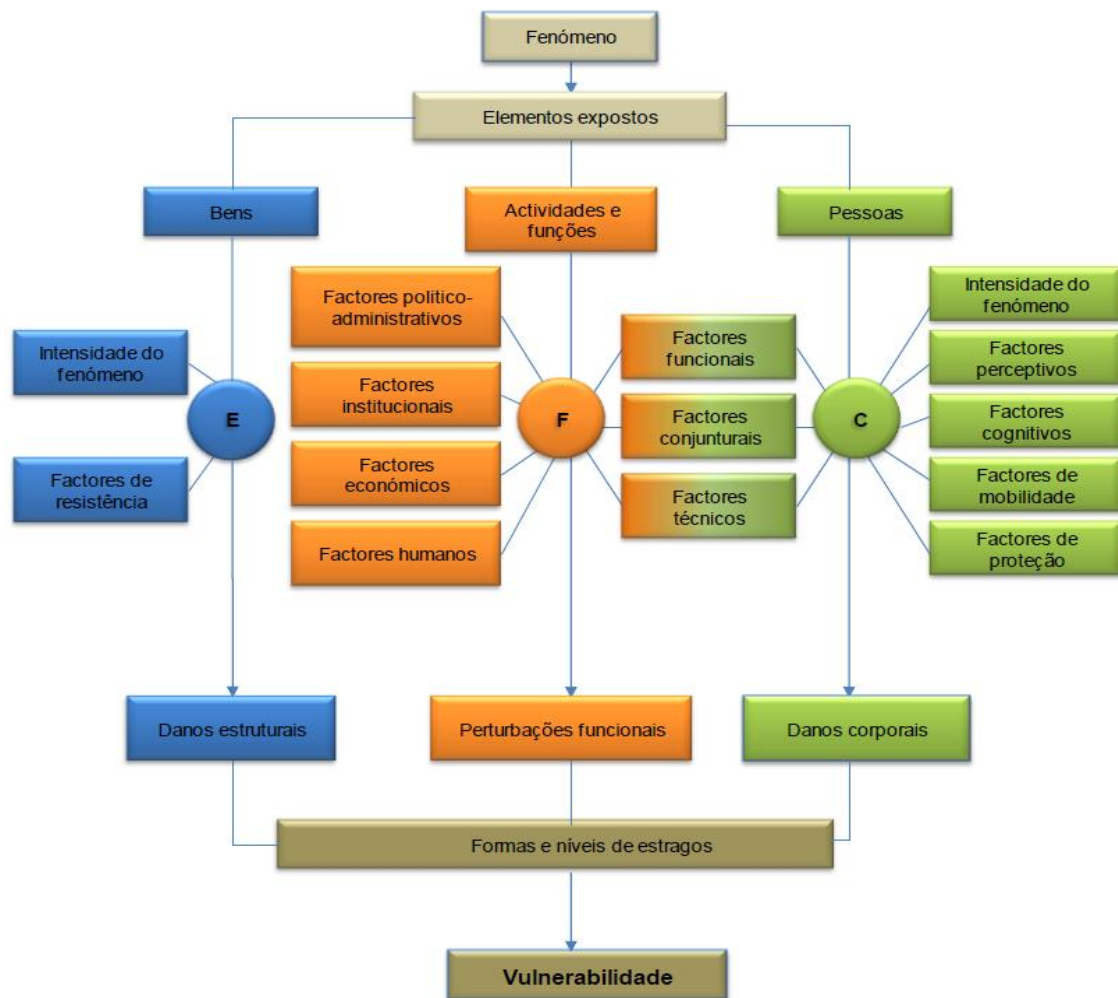


Figura 2 – Componentes e fatores condicionantes da vulnerabilidade (adaptado de Léone, 1996, Fonte: Garcia, 2012).

Relativamente aos elementos vitais, Julião et al. (2009) classificam estes de importância Estratégica, Vital e/ou Sensível (EEEVS) e por isso, fundamentais para a resposta à emergência (e.g., rede hospitalar e de saúde, rede escolar, quartéis de bombeiros e instalações de outros agentes de proteção civil e autoridades civis e militares) e de suporte básico às populações (e.g., reservatórios e redes principais de abastecimento de água, rede elétrica, centrais e retransmissores de telecomunicações).

A vulnerabilidade associada a este tipo de elementos expostos está relacionada com o conjunto de fatores intrínsecos à própria sociedade, pois estes influenciam o modo como a comunidade afetada reage e encontra soluções para o restabelecimento das atividades e funções (e.g., fatores políticos, económicos, institucionais, conjunturais). A manutenção das funções asseguradas por este tipo de elemento exposto pode ser condicionada por danos estruturais do local onde se encontram, ou por danos corporais se tivermos em consideração as pessoas que asseguram o serviço/função (Léone 1996; Garcia, 2002).

Com efeito, existem muitos fatores que condicionam o tipo de danos que os elementos expostos podem sofrer (Léone, 1996) (Figura 2), pelo que a diminuição da exposição e mitigação de possíveis consequências associadas aos movimentos de vertente deve ter por base um eficaz ordenamento do território (Fell et al., 2008). Para tal é fundamental estabelecer, no caso dos movimentos de vertente, a relação entre a incidência espaço-temporal dos perigos e os elementos expostos e vitais (Jaedicke et al., 2014).

3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO E DE PERDAS POTENCIAIS

3.1. INTRODUÇÃO

No presente relatório considera-se a título exemplificativo, a avaliação de elementos expostos face a movimentos de vertente no setor da bacia hidrográfica do Rio Grande da Pipa que se insere na área do município de Arruda dos Vinhos, região de Lisboa. A avaliação de elementos expostos nesta área de estudo enquadra-se num processo mais amplo de avaliação da vulnerabilidade física definida por Alves (2018) (Figura 3).

A avaliação dos elementos expostos é utilizada neste contexto para, em conjunto com a avaliação da vulnerabilidade física e da suscetibilidade, permitir a estimativa do grau de perda potencial.

A avaliação da exposição a movimentos de vertente e a determinação de perdas potenciais de estruturas e infraestruturas é muito importante para o ordenamento do território (Uzielli et al., 2008; Papatoma-Köhle et al., 2011; Guillard-Gonçalves e Zêzere, 2012), proteção civil e planeamento de emergência (Fell et al., 2008; Julião et al., 2009; Kappes et al., 2012;

Corominas et al., 2014; Sterlacchini et al., 2014; Oliveira et al., 2016), assim como, para as companhias de seguros.

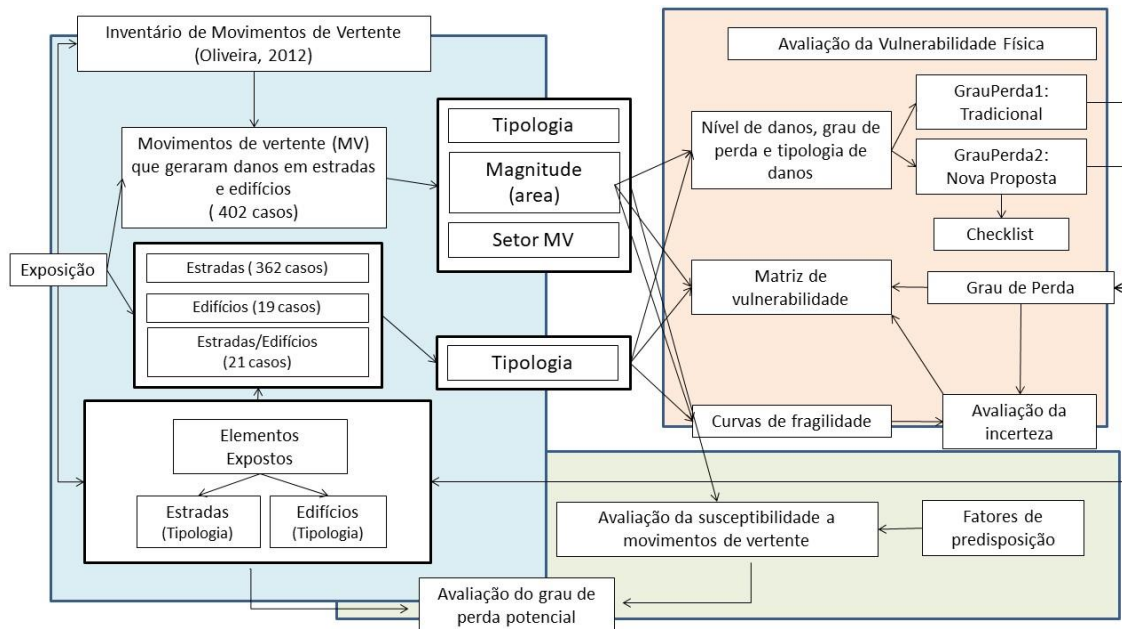


Figura 3 – Esquema metodológico para a avaliação da vulnerabilidade física e perdas potenciais de estradas e edifícios a movimentos de vertente do tipo deslizamento (Alves, 2018).

Para efeitos de avaliação de perdas potenciais na área de estudo são assumidas todas as estradas e edifícios, cujas tipologias estão descritas na Secção 4.2, à exceção de edifícios devolutos. No caso dos diferentes tipos de edifícios são explorados os dados dos CENSOS 2011 para determinar a exposição e perdas potenciais. Os mapas de suscetibilidade (Fig. 4A, 4B) são produzidos com base na metodologia definida no relatório E2.1.2 (Relatório técnico suscetibilidade/perigosidade). Para efeitos de avaliação da exposição foram utilizadas as classes de suscetibilidade Elevada e Muito elevada (Fig. 4A, 4B) cruzando para o efeito a distribuição espacial dos elementos expostos com as áreas definidas com suscetibilidade elevada e muito elevada a deslizamentos profundos e a deslizamentos superficiais. O modelo a deslizamentos superficiais teve como variável dependente todos os deslizamentos com profundidade da superfície de rotura $\leq 1,5$ m (volume até 483 m³) e o modelo a deslizamentos profundos teve por base todos os deslizamentos com profundidade da superfície de rotura $\geq 1,5$ m (volume superior a 483 m³). Para a demonstração do grau de perda potencial em função da exposição de estradas e edifícios a deslizamentos profundos e

superficiais foram analisados todos os registos de danos nestes elementos expostos na área de estudo.

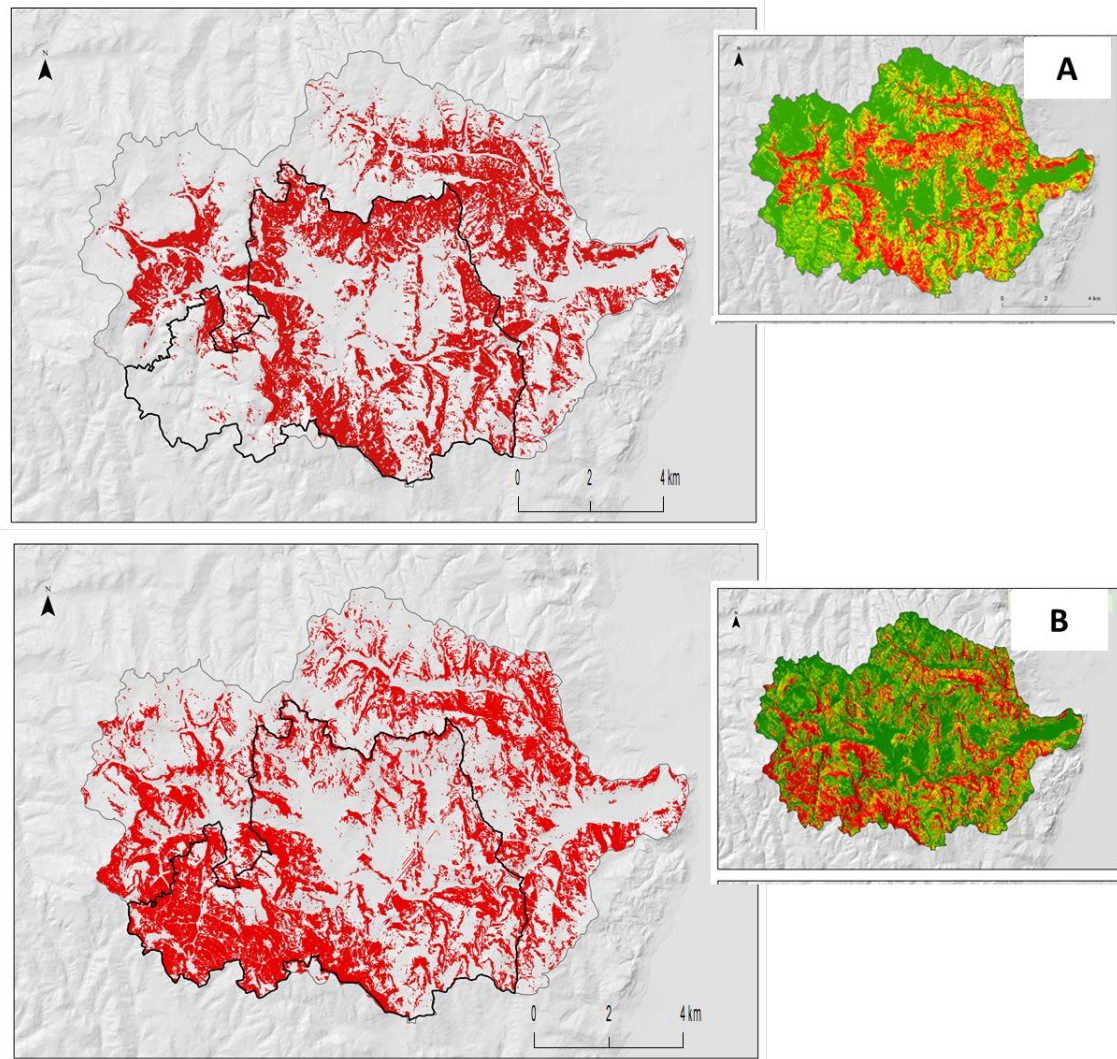


Figura 4 – Área classificada com suscetibilidade muito elevada e elevada a deslizamentos profundos (A) e a deslizamentos superficiais (A) (a vermelho nos mapas da esquerda) a partir dos respetivos mapas de suscetibilidade (mapas da direita). Adaptado de Alves (2018).

3.2. BASES DE DADOS E INFORMAÇÃO CARTOGRÁFICA

A informação cartográfica e os dados de base descritos e caracterizados nesta secção constituem a base para a determinação da vulnerabilidade física de estradas e edifícios a movimentos de vertente, para a avaliação da

suscetibilidade a movimentos de vertente e para a avaliação da exposição a movimentos de vertente e determinação de perdas potenciais. A preparação e uniformização das diferentes estruturas e formatos de dados (Tabela 1) nem sempre se configuraram fáceis, em particular pela dificuldade na aquisição para a mesma escala de referência (1:10 000) da informação relativa aos elementos expostos (estradas e edifícios) em formato vetorial.

Tabela 1 – Fontes cartográficas - Formato e estrutura dos dados de base.

| Escala/ Data | Designação | Formato/estrutura | Produtor (proprietário) |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| 1:50 000 | Carta Geológica de Portugal | Analógico | Serviços Geológicos de Portugal |
| 1:25 000 | Carta Militar de Portugal* | Analógico | Instituto Geográfico do Exército (IGE) |
| 1:25 000 | Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS90)* | Vetorial (polígonos) | Instituto Geográfico Português (IGP) |
| 1:25 000 | Carta de Solos (SROA/ CNROA/ IEADR/IHERA/IDRH/ DGADR) | Analógico | Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR) |
| 1:25 000 | Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP)* | Vetorial (polígonos) | Direção Geral do Território (DGT) |
| 1:10 000 | Base Geográfica de Referência da Informação (BGRI) 2011 | Vetorial (polígonos) | Instituto Nacional de Estatística (INE) |
| 1:10 000 | Altimetria | Vetorial (linhas, pontos) | Associação dos Municípios do Oeste |
| 1:10 000 | Ortofotomapas* | Imagem / matricial (célula 0,5x0,5 m) | Associação dos Municípios do Oeste |
| 1:10 000 Março 2018 | Rede viária e infraestruturas* | Vetorial (linhas, pontos, polígonos) | Associação dos Municípios do Oeste |
| | Edificado* | Estatística | Instituto Nacional de Estatística |

* Fontes utilizadas na identificação e localização de elementos expostos

3.3. TIPOLOGIA, DISTRIBUIÇÃO DAS ESTRADAS E DOS EDIFÍCIOS

Os diferentes tipos de estrada e de edifícios, definidos a partir da sua tipologia de construção, são usados neste trabalho para determinar a vulnerabilidade física e a exposição a movimentos de vertente.

Na avaliação da vulnerabilidade física são utilizados apenas os troços de estradas ou os edifícios que foram afetados por movimentos de vertente na bacia do Rio Grande da Pipa. Para maximizar a base de dados de danos em elementos expostos por movimentos de vertente são utilizados todos os registos de ocorrências na totalidade da bacia do RGP. A avaliação da exposição a movimentos de vertente, e subsequente determinação das perdas potenciais ligadas a estradas e edifícios, é efetuada, por questões relacionadas com a disponibilidade de dados, apenas numa área amostra na bacia do Rio Grande da Pipa cujos limites são definidos pela área da bacia adstrita ao município de Arruda dos Vinhos (Fig. 5).

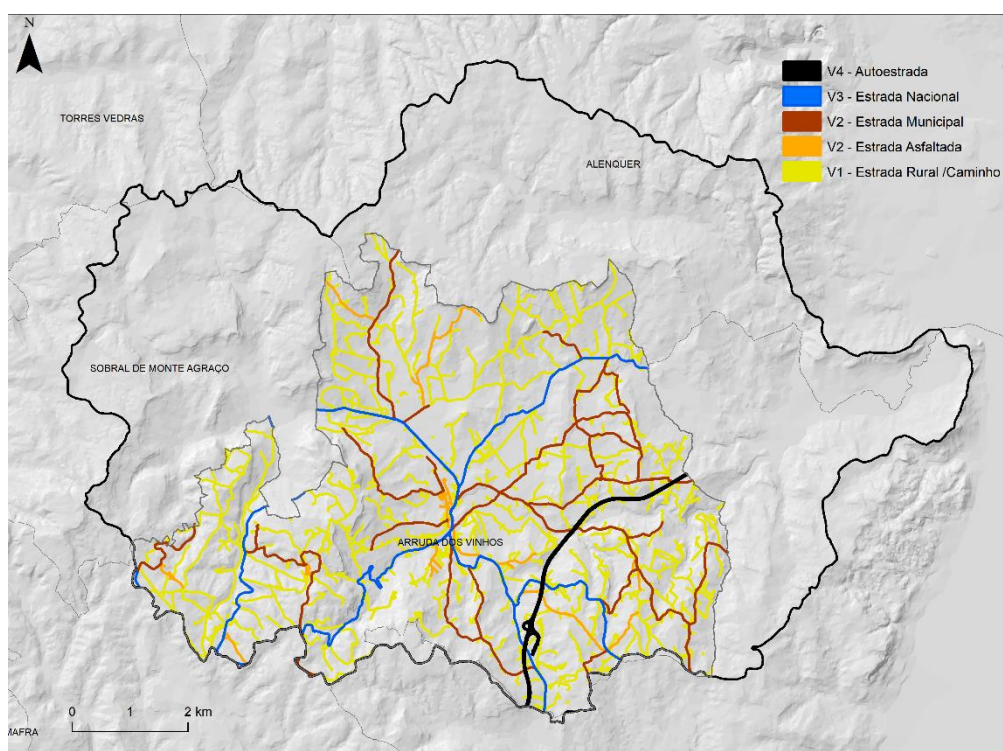


Figura 5 – Rede viária por tipo de estrada na área do município de Arruda dos Vinhos que se enquadra na bacia do RGP.

A resistência dos edifícios e das estradas está intrinsecamente relacionada com a tipologia de construção, e por essa via tem sido possível individualizar genericamente quatro categorias distintas de estradas e edifícios (Garcia, 2012; Oliveira, 2016). As estradas, de acordo com a relação tipologia de construção/resistência estrutural, são divididas em (Fig. 5): (V1) – estrada rural de terra batida ou com camada base ou de regularização de outros materiais menos resistentes (e.g. macadame, tout-venant) (V1a) – Caminhos rurais (estrada rural de terra batida sem camada base ou de regularização, e com impossibilidade de passagem (largura) de veículo automóvel); (V2) – estrada municipal ou similar desde que asfaltada; (V3) – estrada nacional; (V4) – autoestrada. Não entrando em detalhes relativos à rigidez/flexibilidade do tipo de pavimento e técnicas de construção, assume-se que a resistência estrutural das estradas aumenta progressivamente de V1 para V4.

A categorização dos edifícios definida pela relação tipologia de construção e resistência estrutural (Glade, 2003; Baggio et al., 2007; Papathoma-Köhle, 2016) tem sido baseada nas seguintes classes: (E1) - edifícios com outros elementos resistentes (madeira, metal); (E2) – edifícios com pedra de adobe ou taipa; (E3) - edifícios com paredes de alvenaria argamassada; (E4) – edifícios com elementos resistentes de betão. À semelhança das estradas assume-se que a resistência estrutural dos edifícios face à ocorrência de movimentos de vertente aumenta progressivamente de E1 para E4, onde os edifícios com elementos resistentes de betão armado se apresentam tipicamente como os mais resistentes. Na área de estudo este levantamento foi apenas efetuado para os edifícios utilizados para avaliar os padrões de vulnerabilidade física. Nos restantes edifícios da área de estudo a tipologia foi inferida por BGRI (unidade cartográfica mais detalhada) a partir dos CENSOS 2011 (Fig. 6).

No caso dos edifícios classificados como Elementos Vitais, Estratégicos e Sensíveis de acordo com a proposta de Julião et al. (2009), a sua distribuição é apresentada na Fig. 7. A consulta dos CENSOS de 2011 permitiu calcular a frequência absoluta e a frequência relativa de edifícios em cada BGRI, consoante a sua tipologia de construção. Estes dados servirão de auxílio à determinação do tipo de edifício na avaliação da exposição e perdas potenciais relacionadas com a ocorrência de movimentos de vertente.

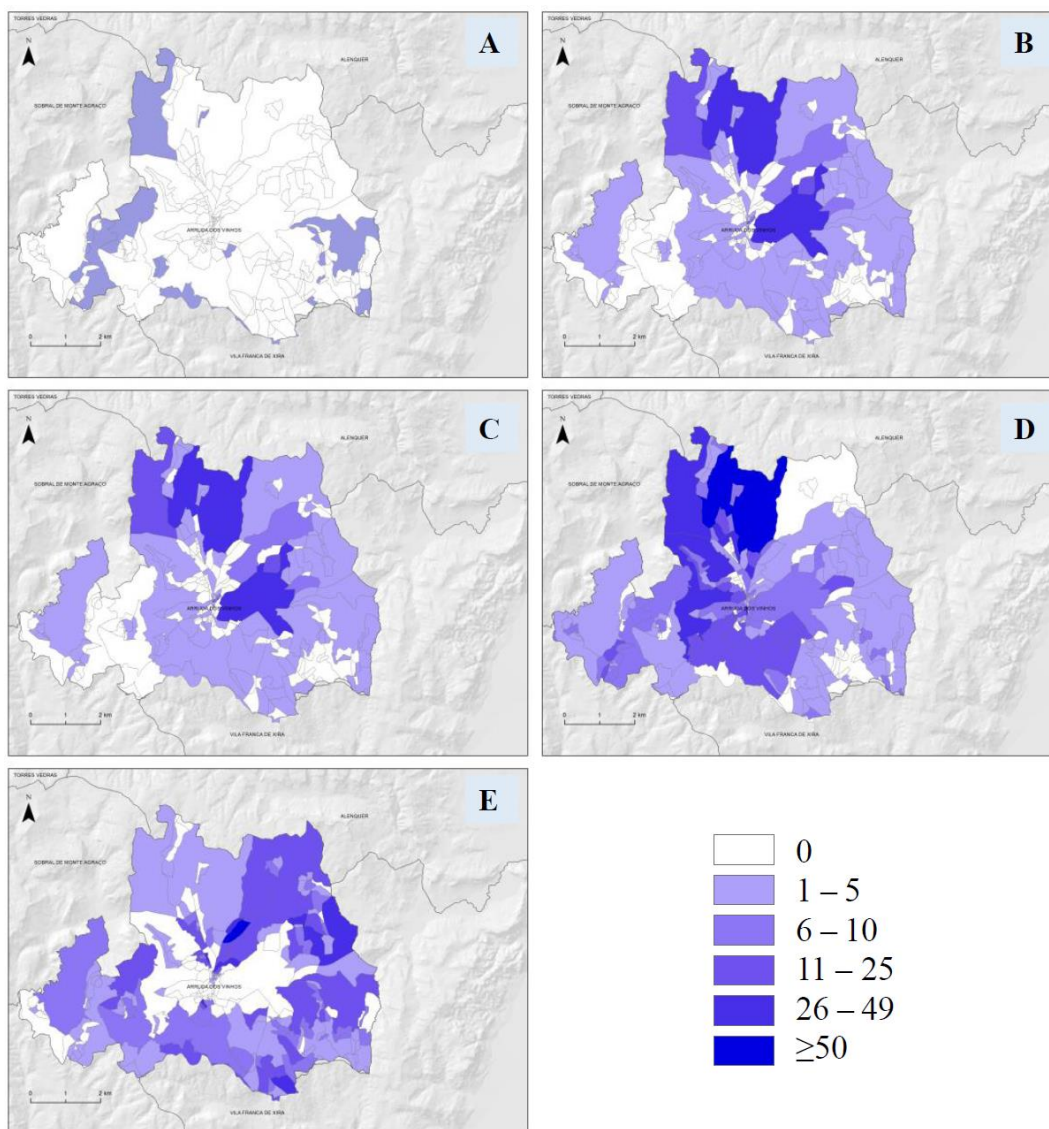


Figura 6 - Frequência absoluta de edifícios de acordo com o tipo de construção: A – E1. Edifícios com outros elementos resistentes (madeira, metal); B – E2. Edifícios com pedra de adobe ou taipa; C – E3. Edifícios com paredes de alvenaria argamassada (sem placa); D – E3. Edifícios com paredes de alvenaria argamassada (com placa); E – E4. Edifícios com elementos resistentes de betão. Fonte dados: INE (março de 2019).

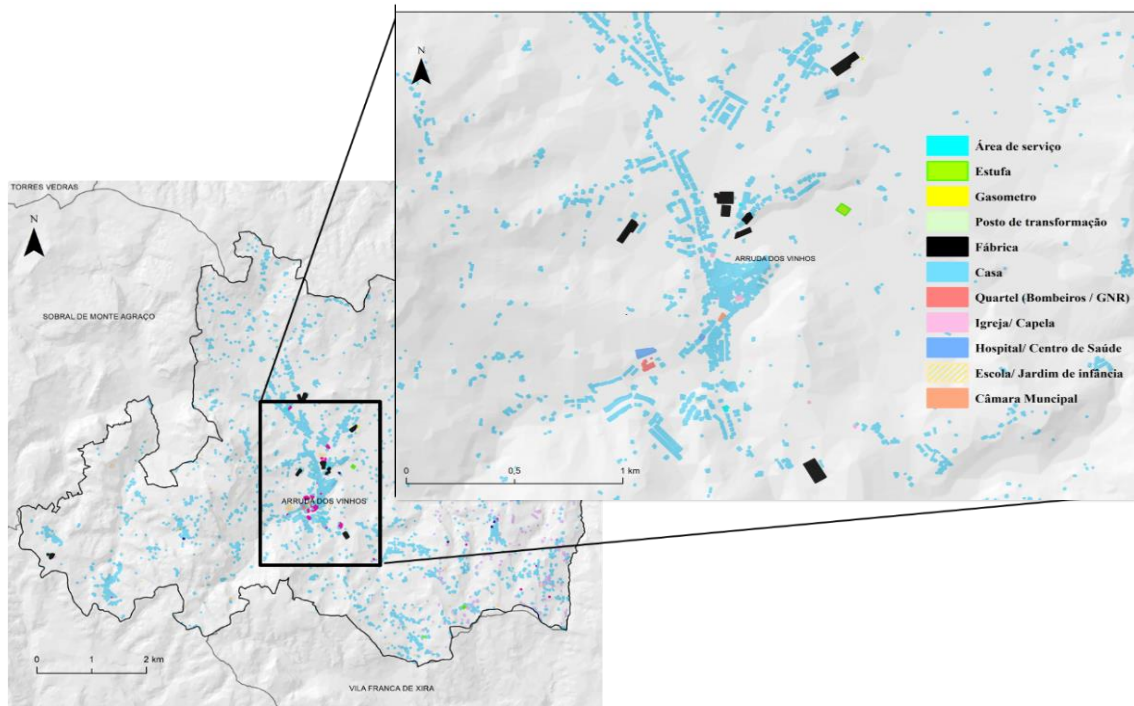


Figura 7 – Edifícios classificados como elementos vitais, estratégicos e sensíveis na área do município de Arruda dos Vinhos que se enquadram na bacia do RGP.

3.4. REGISTO DE DANOS EM ELEMENTOS EXPOSTOS CAUSADOS POR MOVIMENTOS DE VERTENTE

A relação dos danos provocados por movimentos de vertente é estabelecida neste trabalho tendo presente todos os registos de campo ocorridos na bacia do RGP e não apenas os que ocorreram na área amostra do município de Arruda dos Vinhos.

Do inventário de movimentos de vertente da bacia do RGP, foram selecionados 394 movimentos de vertente do tipo deslizamento, que provocaram danos em edifícios e/ou estradas, para avaliar a vulnerabilidade física destes elementos expostos (Tabela 2). Destes 394 deslizamentos, 42 afetaram edifícios e 352 afetaram estradas. Os registos de danos em edifícios e estradas por outros tipos de movimentos de vertente, como por exemplo, escoada ou balançamento, são muito reduzidos ou mesmo inexistentes, pelo que se limitou a análise neste trabalho aos danos provocados por deslizamentos. Relativamente aos movimentos de vertente do tipo deslizamento, constata-se que a maior parte dos registos de danos estão associados à ocorrência de deslizamentos translacionais superficiais (41,5%), na maioria dos casos ocorridos em taludes de estrada, e à ocorrência

de deslizamentos rotacionais profundos e superficiais com 28,4% de casos cada (Alves, 2018).

Quando analisados os tipos de estradas e de edifícios que sofreram danos pela ocorrência de deslizamentos na área de estudo (Tabela 2) verifica-se que a maior parte das ocorrências registaram-se em estradas municipais (156 casos) e estradas nacionais (68 casos). Nas estradas rurais e caminhos registaram-se 56 ocorrências e apenas em 18 casos os deslizamentos afetaram troços da autoestrada. É de salientar que a mesma estrada pode ter sido afetada em vários troços (partes da estrada). Relativamente ao número de registos de danos em edifícios, verifica-se que este é substancialmente menor do que no caso das estradas (42 casos). A maior parte dos movimentos de vertente que geraram danos afetaram edifícios de pedra de adobe ou taipa (17 registos), seguidos pelos edifícios com paredes de alvenaria argamassada e por edifícios com elementos resistentes de betão, 14 e 10 casos, respetivamente. Por último, apenas foi registado um caso de edifício com outros elementos resistentes (madeira, metal) afetado.

Tabela 2 – Distribuição de troços de estradas e edifícios, por tipologia de construção, afetados por movimentos de vertente na bacia do RGP.

| Estradas | Nº de (troços) estradas com danos | Edifícios | Nº de edifícios com danos |
|------------------------|--|--|----------------------------------|
| V4 – Autoestrada | 18 | E4 - Edifícios com elementos resistentes de betão | 10 |
| V3 – Estrada nacional | 68 | E3 - Edifícios com paredes de alvenaria argamassada | 14 |
| V2 – Estrada asfaltada | 156 | E3 - Edifícios sem placa | |
| V1 – Estrada rural | 56 | E2 - Edifícios com pedra de adobe ou taipa | 17 |
| V1a - Caminho | 54 | E1 - Edifícios com outros elementos resistentes (madeira, metal) | 1 |
| TOTAL | 352 | TOTAL | 42 |

4. RESULTADOS - EXPOSIÇÃO A MOVIMENTOS DE VERTENTE E PERDAS POTENCIAIS

A exposição a movimentos de vertente é apresentada apenas para a área do município de Arruda dos Vinhos, pertencente à bacia do Rio Grande da Pipa, tendo por base dois cenários distintos, a exposição dos diferentes tipos de estradas e edifícios a deslizamentos profundos e deslizamentos superficiais. A exposição é definida pela presença dos elementos expostos nas áreas classificadas com suscetibilidade elevada e muito elevada a deslizamentos profundos (Fig. 8) e a deslizamentos superficiais (Fig. 9).

A Tabela 3, sintetiza a exposição dos diferentes tipos de estradas a deslizamentos profundos. As autoestradas (V4) têm 4.006 m (36,3%) do seu traçado em áreas suscetíveis a estes deslizamentos, enquanto as estradas nacionais (V3) registam 8.377 m (30,3%). Como no caso anterior, as estradas asfaltadas (V2) e as estradas rurais/ caminhos (V1) destacam-se pelas maiores extensões de exposição a deslizamentos profundos (18.871 m (28,6%) e 74.973 m (33,1%), respetivamente).

A Tabela 4, sintetiza a exposição dos diferentes tipos de estradas a deslizamentos superficiais 5.475 m (46,3%) do traçado da autoestrada (V4) encontram-se localizados em áreas classificadas com suscetibilidade elevada a muito elevada a movimentos de vertente superficiais. Importa realçar que os troços de autoestrada que estão sustentados por viadutos, e que possam ter sido classificados como expostos a deslizamentos superficiais, só estão realmente expostos se os seus pilares estiverem localizados em áreas de suscetibilidade elevada a muito elevada. As estradas nacionais (V3) apresentam 7.221 m (26,5%), do seu traçado em áreas mais suscetíveis. As estradas asfaltadas (V2) e as estradas rurais/caminhos (V1) são as que apresentam maiores extensões em áreas suscetíveis (15.492 m (24,1%) e 66.486 m (29,7%), respetivamente).

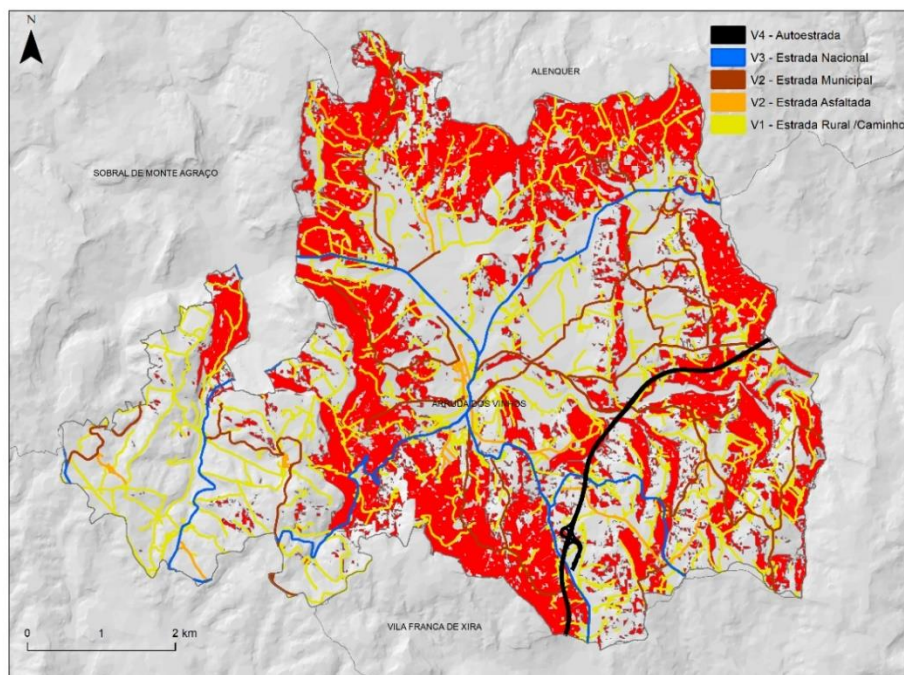


Figura 8 – Suscetibilidade elevada a muito elevada a deslizamentos profundos (a vermelho) e distribuição dos diferentes tipos de estrada na área de estudo.

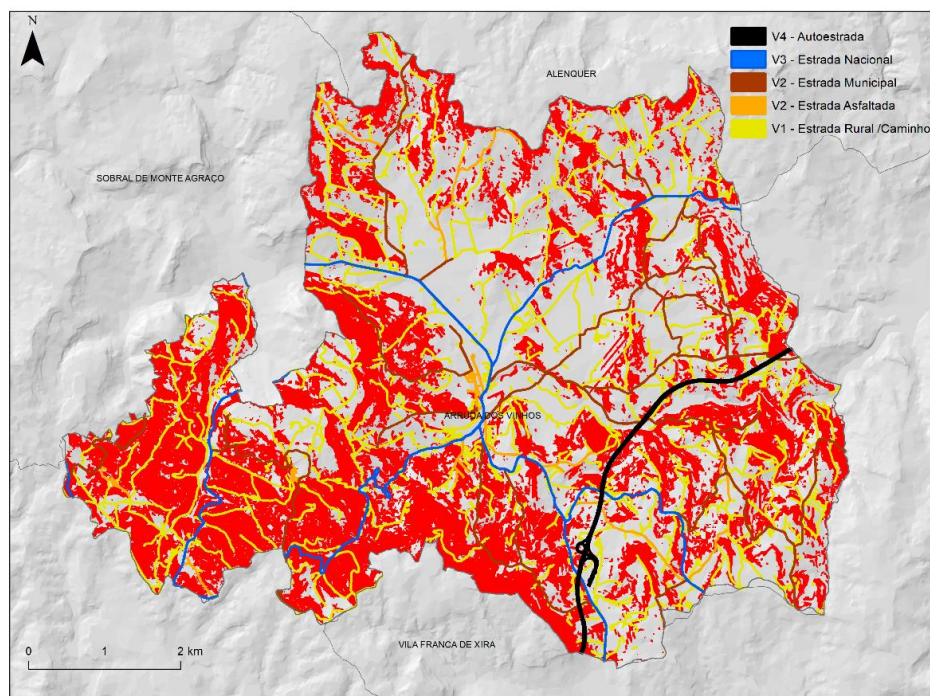


Figura 9 - Suscetibilidade elevada a muito elevada a deslizamentos superficiais (a vermelho) e distribuição dos diferentes tipos de estrada na área de estudo.

Tabela 3 – Exposição por tipologia de estrada a deslizamentos profundos na área do município de Arruda dos Vinhos localizada na bacia do RGP.

| | Autoestrada (V4) | | | Estrada Nacional (V3) | | | Estrada Asfaltada (V2) | | | Estrada rural/Caminho (V1) | | |
|-----------------------------|------------------|------------|--------------|-----------------------|------------|--------------|------------------------|------------|--------------|----------------------------|------------|--------------|
| | Não suscetível | Suscetível | % Suscetível | Não suscetível | Suscetível | % Suscetível | Não suscetível | Suscetível | % Suscetível | Não suscetível | Suscetível | % Suscetível |
| Comprimento (m) | 7.030 | 4.006 | 36,3 | 19.313 | 8.377 | 30,3 | 47.121 | 18.871 | 28,6 | 151.716 | 74.973 | 33,1 |
| Área (m²) | 144.806 | 66.222 | 31,4 | 106.173 | 37.761 | 26,2 | 225.295 | 82.641 | 26,8 | 572.678 | 229.623 | 28,6 |

Tabela 4 – Exposição por tipologia de estrada a deslizamentos superficiais na área do município de Arruda dos Vinhos localizada na bacia do RGP.

| | Autoestrada (V4) | | | Estrada Nacional (V3) | | | Estrada Asfaltada (V2) | | | Estrada rural/Caminho (V1) | | |
|-----------------------------|------------------|------------|--------------|-----------------------|------------|--------------|------------------------|------------|--------------|----------------------------|------------|--------------|
| | Não suscetível | Suscetível | % Suscetível | Não suscetível | Suscetível | % Suscetível | Não suscetível | Suscetível | % Suscetível | Não suscetível | Suscetível | % Suscetível |
| Comprimento (m) | 6.342 | 5.475 | 46,3 | 19.996 | 7.221 | 26,5 | 48.863 | 15.492 | 24,1 | 157.501 | 66.486 | 29,7 |
| Área (m²) | 112.778 | 98.252 | 46,6 | 110.141 | 33.966 | 23,6 | 245.721 | 62.260 | 20,2 | 594.556 | 208.719 | 26,0 |

No caso do edificado, utilizaram-se os dados dos CENSOS de 2011 para determinar o número de edifícios de cada tipo por subsecção estatística (BGRI). Desta forma, cruzando as áreas com suscetibilidade elevada e muito elevada a deslizamentos superficiais e a deslizamentos profundos com as BGRI é possível saber em cada subsecção estatística qual a fração de área suscetível a deslizamentos superficiais e profundos e, dessa forma, inferir a exposição provável desses elementos, expressa como probabilidade conjunta (Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9). Para o efeito é determinada a frequência relativa de cada tipo de edifício por subsecção estatística e esse valor é multiplicado pela frequência relativa da área da subsecção estatística classificada com suscetibilidade elevada e muito elevada. A exposição provável traduz de forma quantitativa, por subsecção estatística, a possibilidade conjunta de um determinado edifício ser de um determinado tipo e estar incluído numa área de suscetibilidade elevada e muito elevada a deslizamentos superficiais e profundos.

A Figura 10 e a Tabela 5 reportam a probabilidade conjunta para edifícios com “estrutura de betão armado”. O número de edifícios varia entre 1 e 59 e a percentagem de área das subsecções da BGRI classificada com maior suscetibilidade a deslizamentos profundos varia entre 0 % e 45,6 %, sendo entre 0 % e 71,3 % para os deslizamentos superficiais. A probabilidade conjunta de exposição varia entre 0 e 0,4 no caso dos movimentos de vertente profundos e entre 0 e 0,63 no caso dos movimentos de vertente superficiais.

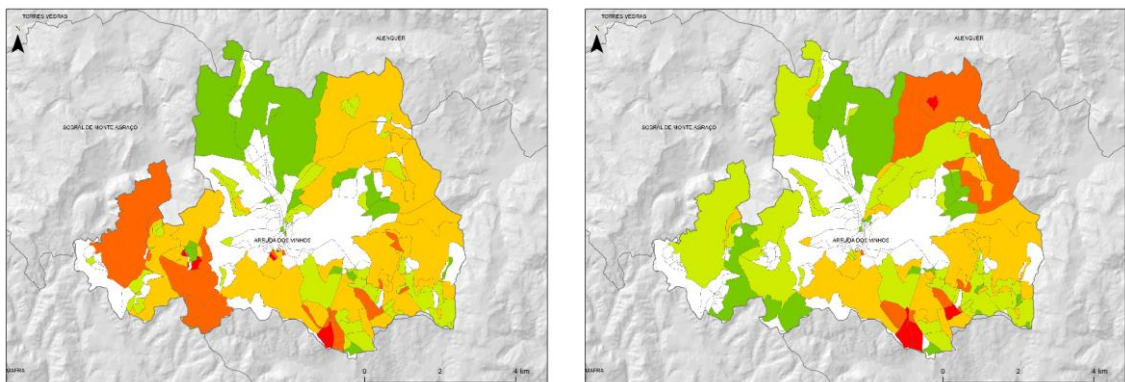


Figura 10 – Exposição provável de edifícios de betão armado por subsecção estatística. A figura da esquerda representa a exposição a deslizamentos profundos e a da direita a exposição a deslizamentos superficiais.

Tabela 5 – Probabilidade conjunta de edifícios com “estrutura de betão armado” estarem expostos a deslizamentos profundos e superficiais por BGRI. São apresentadas apenas as 10 BGRI com maior número de edifícios desta tipologia

| | Área da BGRI (m ²) | Número de edifícios com estrutura de betão armado | Área suscetível a deslizamentos profundos (m ²) | Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos profundos | Área suscetível a deslizamentos superficiais (m ²) | Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos superficiais | Número Total edifícios na BGRI | Prob edifício | Prob edif x prob área suscetível a deslizamentos profundos | Prob edif x prob área suscetível a deslizamentos superficiais |
|----|--------------------------------|---|---|---|--|--|--------------------------------|---------------|--|---|
| 1 | 225453 | 59 | 23886 | 0,11 | 21660 | 0,10 | 64 | 0,92 | 0,10 | 0,09 |
| 2 | 18955 | 47 | 7184 | 0,38 | 809 | 0,04 | 48 | 0,98 | 0,37 | 0,04 |
| 3 | 72323 | 32 | 2980 | 0,04 | 12651 | 0,18 | 39 | 0,82 | 0,03 | 0,14 |
| 4 | 241800 | 31 | 22967 | 0,10 | 30762 | 0,13 | 45 | 0,69 | 0,07 | 0,09 |
| 5 | 22260 | 26 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 26 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 1584469 | 26 | 554573 | 0,35 | 864159 | 0,55 | 40 | 0,65 | 0,23 | 0,35 |
| 7 | 122894 | 26 | 11624 | 0,10 | 30842 | 0,25 | 29 | 0,90 | 0,08 | 0,23 |
| 8 | 20269 | 25 | 1452 | 0,07 | 3069 | 0,15 | 25 | 1,00 | 0,07 | 0,15 |
| 9 | 87540 | 24 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 27 | 0,89 | 0,00 | 0,00 |
| 10 | 111955 | 23 | 51062 | 0,46 | 79764 | 0,71 | 26 | 0,88 | 0,40 | 0,63 |

A Tabela 6 reporta a probabilidade conjunta para edifícios com “estrutura de paredes de alvenaria com placa”. O número de edifícios varia entre 1 e 56 e a percentagem de área das subsecções da BGRI classificada com maior suscetibilidade a deslizamentos profundos varia entre 0 % e 68,6 %, sendo entre 0 % e 76,1 % para os deslizamentos superficiais. A probabilidade conjunta de exposição varia entre 0 e 0,63 no caso dos movimentos de vertente profundos e entre 0 e 0,7 no caso dos movimentos de vertente superficiais.

A Tabela 7 reporta a probabilidade conjunta para edifícios com “estruturas de paredes de alvenaria sem placa”. O número de edifícios varia entre 1 e 26 e a percentagem de área das subsecções da BGRI classificada com maior suscetibilidade a deslizamentos profundos varia entre 0 % e 26,4 %, sendo entre 0 % e 42,6 % para os deslizamentos superficiais. A probabilidade conjunta de exposição varia entre 0 e 0,2 no caso dos movimentos de vertente profundos e entre 0,30 e 0,19 no caso dos movimentos de vertente superficiais.

Tabela 6 - Probabilidade conjunta de edifícios com “estrutura de parede de alvenaria com placa” estarem expostos a deslizamentos profundos e superficiais por BGRI. São apresentadas apenas as 10 BGRI com maior número de edifícios desta tipologia

| | Área da BGRI (m ²) | Número de edifícios com estrutura de parede de alvenaria com placa | Área suscetível a deslizamentos profundos (m ²) | Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos profundos | Área suscetível a deslizamentos superficiais (m ²) | Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos superficiais | Número Total edifícios na BGRI | Prob edifício | Prob edif x prob área suscetível a deslizamentos profundos | Prob edif x prob área suscetível a deslizamentos superficiais |
|----|--------------------------------|--|---|---|--|--|--------------------------------|---------------|--|---|
| 1 | 4116769 | 56 | 865011 | 21 | 1755286 | 42,6 | 86 | 0,65 | 0,14 | 0,28 |
| 2 | 71175 | 49 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 49 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 2539078 | 39 | 983998 | 38,8 | 1587323 | 62,5 | 56 | 0,70 | 0,27 | 0,44 |
| 4 | 115718 | 32 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 33 | 0,97 | 0,00 | 0,00 |
| 5 | 2779414 | 29 | 1618847 | 58,2 | 1663199 | 59,8 | 53 | 0,55 | 0,32 | 0,33 |
| 6 | 78838 | 26 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 39 | 0,67 | 0,00 | 0,00 |
| 7 | 94037 | 26 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 31 | 0,84 | 0,00 | 0,00 |
| 8 | 15857 | 26 | 671 | 4,2 | 0 | 0,00 | 27 | 0,96 | 0,04 | 0,00 |
| 9 | 177679 | 24 | 2263 | 1,3 | 11337 | 6,4 | 29 | 0,83 | 0,01 | 0,05 |
| 10 | 12687 | 24 | 2313 | 18,2 | 0,1 | 0,00 | 25 | 0,96 | 0,18 | 0,00 |

Tabela 7 - Probabilidade conjunta de edifícios com “estrutura de parede de alvenaria sem placa” estarem expostos a deslizamentos profundos e superficiais por BGRI. São apresentadas apenas as 4 BGRI com edifícios desta tipologia

| | Área da BGRI (m ²) | Número de edifícios com estrutura de parede de alvenaria sem placa | Área suscetível a deslizamentos profundos (m ²) | Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos profundos | Área suscetível a deslizamentos superficiais (m ²) | Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos superficiais | Número Total edifícios na BGRI | Prob edifício | Prob edif x prob área suscetível a deslizamentos profundos | Prob edif x prob área suscetível a deslizamentos superficiais |
|---|--------------------------------|--|---|---|--|--|--------------------------------|---------------|--|---|
| 1 | 4116769 | 26 | 865011 | 0,21 | 1755286 | 0,43 | 86 | 0,30 | 0,06 | 0,13 |
| 2 | 2582090 | 20 | 681366 | 0,26 | 646833 | 0,25 | 26 | 0,77 | 0,20 | 0,19 |
| 3 | 3373 | 16 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 20 | 0,80 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 2521 | 16 | 15 | 0,01 | 0 | 0,00 | 18 | 0,89 | 0,01 | 0,00 |

A Tabela 8 reporta a probabilidade conjunta para edifícios com “Estrutura de paredes de adobe ou alvenaria de pedra solta”. O número de edifícios varia entre 1 e 21 e a percentagem de área das subsecções da BGRI classificada com maior suscetibilidade a a deslizamentos profundos varia entre 3% e 58,2%, sendo entre 0 % e 59,8 % para os deslizamentos superficiais. A probabilidade conjunta de exposição varia entre 0,03 e 0,23 no caso dos movimentos de vertente profundos e entre 0 e 0,24 no caso dos movimentos de vertente superficiais.

Tabela 8 - Probabilidade conjunta de edifícios com “Estrutura de paredes de adobe ou alvenaria de pedra solta” estarem expostos a deslizamentos profundos e superficiais por BGRI. São apresentadas apenas as 7 BGRI com edifícios desta tipologia

| | Área da BGRI (m ²) | Número de edifícios com estrutura de paredes de adobe ou alvenaria de pedra solta | Área suscetível a deslizamentos profundos (m ²) | Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos profundos | Área suscetível a deslizamentos superficiais (m ²) | Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos superficiais | Número Total edifícios na BGRI | Prob edifício | Prob edif x prob área suscetível a deslizamentos profundos | Prob edif x prob área suscetível a deslizamentos superficiais |
|---|--------------------------------|---|---|---|--|--|--------------------------------|---------------|--|---|
| 1 | 2779414 | 21 | 1618847 | 0,58 | 1663199 | 0,60 | 53 | 0,40 | 0,23 | 0,24 |
| 2 | 10130 | 20 | 2355 | 0,23 | 0 | 0,00 | 34 | 0,59 | 0,14 | 0,00 |
| 3 | 1755713 | 14 | 954882 | 0,54 | 931139 | 0,53 | 33 | 0,42 | 0,23 | 0,22 |
| 4 | 371709 | 12 | 109508 | 0,30 | 149717 | 0,40 | 34 | 0,35 | 0,10 | 0,14 |
| 5 | 138659 | 12 | 49565 | 0,36 | 35971 | 0,26 | 27 | 0,44 | 0,16 | 0,12 |
| 6 | 8067 | 12 | 238 | 0,03 | 0 | 0,00 | 13 | 0,92 | 0,03 | 0,00 |
| 7 | 341274 | 11 | 104526 | 0,31 | 107935 | 0,32 | 17 | 0,65 | 0,20 | 0,20 |

A Tabela 9 reporta a probabilidade conjunta para edifícios com “outro tipo de estrutura”. O número de edifícios é bastante reduzido variando entre 1 e 2 e a percentagem de área das subsecções da BGRI classificada com maior suscetibilidade a deslizamentos profundos varia entre 6,7% e 99,8%, sendo entre 0 % e 96,5 % no caso dos deslizamentos superficiais. A probabilidade conjunta de exposição varia entre 0 e 0,36 no caso dos movimentos de vertente profundos e entre 0 e 0,06 no caso dos movimentos de vertente superficiais.

As perdas potenciais em estradas e edifícios associadas a ambos os cenários de exposição (a deslizamentos superficiais e a deslizamentos profundos) podem ser inferidas através de leitura cruzada das Tabelas 10 e 11. Nestas é efetuada uma análise estatística simplificada do grau de perda em edifícios e estradas, em função da profundidade da superfície de rotura do deslizamento. Com base nos registos de campo, tratados na Tabela 10, é possível identificar que os edifícios são particularmente vulneráveis aos deslizamentos profundos, podendo por esses sofrer níveis de danos severos (1,0 de grau de perda) ou a completa destruição da estrutura. No caso de serem afetadas por deslizamentos superficiais os danos tendem a ser substancialmente menos graves e o valor de grau de perda máximo para este tipo de deslizamentos ronda os 0,3.

Tabela 9 - Probabilidade conjunta de edifícios com “outro tipo de estrutura” estarem expostos a deslizamentos profundos e superficiais por BGRI. São apresentadas apenas as 10 BGRI com maior número de edifícios desta tipologia

| | Área da BGRI (m ²) | Número de edifícios com outro tipo de estrutura | Área suscetível a deslizamentos profundos (m ²) | Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos profundos | Área suscetível a deslizamentos superficiais (m ²) | Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos superficiais | Número Total edifícios na BGRI | Prob edifício | Prob edif x prob área suscetível a deslizamentos profundos | Prob edif x prob área suscetível a deslizamentos superficiais |
|----|--------------------------------|---|---|---|--|--|--------------------------------|---------------|--|---|
| 1 | 153250,4 | 2 | 113378,2 | 0,74 | 0 | 0,00 | 28 | 0,07 | 0,05 | 0,00 |
| 2 | 45933,1 | 2 | 6200,8 | 0,11 | 4064,4 | 0,09 | 14 | 0,14 | 0,02 | 0,01 |
| 3 | 1755712,6 | 1 | 954881,9 | 0,54 | 931139,2 | 0,53 | 33 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| 4 | 1209660,4 | 1 | 420330,1 | 0,35 | 212080,9 | 0,18 | 27 | 0,04 | 0,01 | 0,01 |
| 5 | 61849,5 | 1 | 5447 | 0,09 | 5683,5 | 0,09 | 27 | 0,04 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 264221,4 | 1 | 92070,7 | 0,35 | 109935,4 | 0,42 | 10 | 0,10 | 0,03 | 0,04 |
| 7 | 134926,8 | 1 | 72257,1 | 0,54 | 95999,8 | 0,71 | 26 | 0,04 | 0,02 | 0,03 |
| 8 | 51744,8 | 1 | 46412,5 | 0,90 | 49918,3 | 0,97 | 19 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 9 | 119555,7 | 1 | 65622,2 | 0,55 | 17928,3 | 0,15 | 10 | 0,10 | 0,05 | 0,01 |
| 10 | 26207,8 | 1 | 3617,6 | 0,14 | 1263,1 | 0,05 | 5 | 0,20 | 0,03 | 0,01 |

As perdas potenciais no caso das estradas podem ser inferidas através da leitura da Tabela 11, sendo que os diferentes tipos de estradas quando afetadas por deslizamentos profundos tendem a apresentar níveis de danos severos (entre 0,9 e 1,0 de grau de perda). No caso de serem afetadas por deslizamentos superficiais, pelo menos para estradas menos resistentes que as estradas nacionais, os danos podem ser igualmente severos, a comprovar pelos valores máximos de grau de perda registados. Nestas, o grau de perda máximo para este tipo de deslizamentos superficiais ronda os 0,5, ainda assim potencialmente elevado.

Tabela 10 - Análise estatística de valores de grau de perda em edifícios (Alves, 2018)

| Profundidade (m) → | 0-0,5 | 0,5-1 | 1-1,5 | 1,5-2 | 2-2,5 | 2,5-3 | 3-4 | 4-5 | 5-10 | >10 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| Máximo | -- | 0,30 | 0,30 | 0,50 | -- | 0,30 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Mínimo | -- | 0,30 | 0,30 | 0,30 | -- | 0,30 | 0,40 | 0,30 | 0,20 | 0,30 |
| Todos | | | | | | | | | | |
| Mediana | -- | 0,30 | 0,30 | 0,40 | -- | 0,30 | 0,90 | 1,00 | 0,40 | 0,40 |
| 1 Quartil | -- | 0,30 | 0,30 | 0,35 | -- | 0,30 | 0,65 | 0,50 | 0,30 | 0,30 |
| 3 Quartil | -- | 0,30 | 0,30 | 0,45 | -- | 0,30 | 0,95 | 1,00 | 0,50 | 0,65 |
| Média | -- | 0,30 | 0,30 | 0,40 | -- | 0,30 | 0,77 | 0,76 | 0,49 | 0,49 |
| DP | | 0,00 | 0,00 | 0,10 | -- | 0,00 | 0,26 | 0,30 | 0,26 | 0,23 |

O reduzido número de registos de ocorrências de danos em edifícios na bacia do RGP, 42 no total, leva a que o grau de perda médio seja maior com 3-5 metros de profundidade de superfície de rotura do que para deslizamentos com profundidades de superfícies de rotura superior a 5 m. Estes valores de grau de perda médio mais baixos para deslizamentos profundos devem ser interpretados com muita prudência, devido à escassez de registos de danos em edifícios associados a deslizamentos profundos. No entanto, devido à maior dimensão destes deslizamentos, muitos dos edifícios afetados encontram-se em setores com reduzida deformação interna/superficial (deformação em bloco), o que justifica os graus de perda mais baixos. A utilização destes valores médios deve ser utilizada com cautela, pelo que numa abordagem mais conservadora é aconselhável a utilização dos valores máximos de deformação registados, para estes casos perda total (1,0 de grau de perda).

Tabela 11 – Análise estatística de valores de grau de perda em estradas (Alves, 2018)

| Profundidade (m) → | 0-0,5 | 0,5-1 | 1-1,5 | 1,5-2 | 2-2,5 | 2,5-3 | 3-4 | 4-5 | 5-10 | >10 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| Máximo | 0,50 | 1,00 | 0,90 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,60 | 1,00 | 1,00 | 0,90 |
| Mínimo | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,20 | 0,20 |
| Mediana | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,20 | 0,30 | 0,90 | 0,55 | 0,35 |
| Todas 1 Quartil | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,15 | 0,30 | 0,45 | 0,30 | 0,23 |
| 3 Quartil | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,38 | 0,30 | 0,40 | 0,40 | 1,00 | 0,60 | 0,55 |
| Média | 0,12 | 0,19 | 0,24 | 0,30 | 0,30 | 0,29 | 0,35 | 0,73 | 0,51 | 0,43 |
| DP | 0,07 | 0,14 | 0,19 | 0,23 | 0,20 | 0,17 | 0,15 | 0,30 | 0,23 | 0,25 |
| Máximo | 0,10 | 0,60 | 0,80 | 1,00 | -- | 0,20 | 0,60 | 0,90 | 1,00 | 0,20 |
| Mínimo | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | -- | 0,20 | 0,20 | 0,90 | 0,60 | 0,20 |
| Mediana | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,10 | -- | 0,20 | 0,40 | 0,90 | 1,00 | 0,20 |
| V1 1 Quartil | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | -- | 0,20 | 0,35 | 0,90 | 0,80 | 0,20 |
| 3 Quartil | 0,10 | 0,10 | 0,35 | 0,55 | -- | 0,20 | 0,45 | 0,90 | 1,00 | 0,20 |
| Média | 0,10 | 0,15 | 0,29 | 0,40 | -- | 0,20 | 0,40 | 0,90 | 0,87 | 0,20 |
| DP | 0,00 | 0,12 | 0,24 | 0,42 | -- | 0,00 | 0,14 | 0,00 | 0,19 | 0,00 |
| Máximo | 0,20 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,50 | 0,40 | 0,10 | 1,00 | 0,60 | -- |
| Mínimo | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,10 | 1,00 | 0,60 | -- |
| Mediana | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,40 | 0,10 | 1,00 | 0,60 | -- |
| V1a 1 Quartil | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,35 | 0,40 | 0,10 | 1,00 | 0,60 | -- |
| 3 Quartil | 0,10 | 0,20 | 0,50 | 0,40 | 0,45 | 0,40 | 0,10 | 1,00 | 0,60 | -- |
| Média | 0,12 | 0,77 | 0,34 | 0,38 | 0,40 | 0,40 | 0,10 | 1,00 | 0,60 | -- |
| DP | 0,04 | 0,15 | 0,23 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -- |
| Máximo | 0,40 | 1,00 | 0,90 | 0,50 | 0,40 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 0,90 |
| Mínimo | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,20 | 0,30 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Mediana | 0,10 | 0,10 | 0,25 | 0,30 | 0,20 | 0,40 | 0,35 | 0,45 | 0,40 | 0,60 |
| | 1 Quartil | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,15 | 0,25 | 0,30 | 0,38 | 0,30 | 0,45 |
| | 3 Quartil | 0,10 | 0,30 | 0,40 | 0,35 | 0,25 | 0,50 | 0,48 | 0,53 | 0,60 | 0,75 |
| | Média | 0,14 | 0,18 | 0,27 | 0,29 | 0,21 | 0,37 | 0,37 | 0,45 | 0,42 | 0,60 |
| | DP | 0,08 | 0,14 | 0,18 | 0,14 | 0,10 | 0,21 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,24 |
| | Máximo | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,30 | 1,00 | 0,20 | 0,30 | 1,00 | -- | 0,40 |
| | Mínimo | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,30 | -- | 0,20 |
| V3 | Mediana | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,15 | 0,30 | 0,65 | -- | 0,30 |
| | 1 Quartil | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,28 | 0,13 | 0,30 | 0,48 | -- | 0,25 |
| | 3 Quartil | 0,10 | 0,23 | 0,30 | 0,20 | 0,30 | 0,18 | 0,30 | 0,83 | -- | 0,35 |
| | Média | 0,17 | 0,84 | 0,18 | 0,16 | 0,35 | 0,15 | 0,30 | 0,65 | -- | 0,30 |
| | DP | 0,15 | 0,14 | 0,12 | 0,08 | 0,25 | 0,05 | 0,00 | 0,35 | -- | 0,10 |
| | Máximo | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,50 | 0,30 | -- | -- | -- | -- | -- |
| | Mínimo | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | -- | -- | -- | -- | -- |
| | Mediana | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,30 | -- | -- | -- | -- | -- |
| V4 | 1 Quartil | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,30 | -- | -- | -- | -- | -- |
| | 3 Quartil | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,40 | 0,30 | -- | -- | -- | -- | -- |
| | Média | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,30 | -- | -- | -- | -- | -- |
| | DP | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 0,00 | -- | -- | -- | -- | -- |

A avaliação da exposição dos edifícios a deslizamentos profundos e a deslizamentos superficiais considerando a localização exata de cada elemento na área de estudo é apresentada nas Figuras 9 e 10, respetivamente. Por dificuldade em estabelecer caso a caso, o respetivo tipo de edifício, no que concerne à tipologia de construção, optou-se por apresentar a exposição de forma simplificada para edifícios, estufas e outros elementos classificados como Elementos Vitais, Estratégicos e Sensíveis de acordo com a proposta de Julião et al. (2009). Na Tabela 12 é sintetizado o nível de exposição que estes elementos têm na área de estudo a deslizamentos profundos e a deslizamentos superficiais. Em pormenor, estão expostos em áreas de elevada a muito elevada suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos profundos: os postos de transformação com 40%, as estufas com 28,6%, as áreas de serviço com 25%, os edifícios (habitacionais) com 18,9% e as igrejas/ capelas com 5,3% tendo os restantes elementos um valor nulo. No caso da exposição a deslizamentos superficiais destacam-se: as estufas com 71,4%, as áreas de serviço com 25%, as vivendas com 12,3%, as escolas/ jardins de infância com 10% e por último as fábricas com 3,1%, tendo os restantes elementos o valor de 0%.

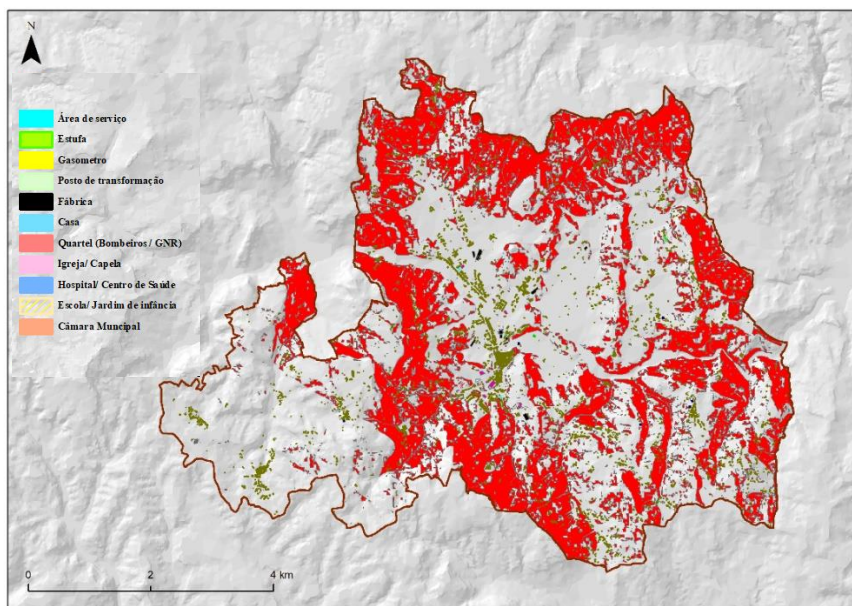


Figura 9 - Suscetibilidade a movimentos de vertente profundos (a vermelho) e os elementos expostos: edifícios, estufas e outros elementos classificados como vitais estratégicos e/ou sensíveis.

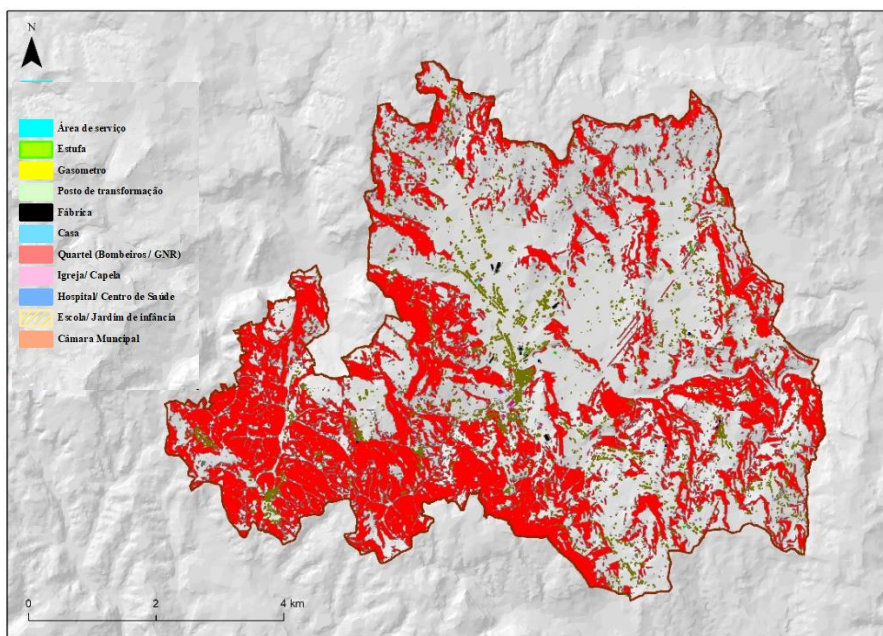


Figura 10 - Suscetibilidade a movimentos de vertente superficiais (a vermelho) e elementos expostos: edifícios, estufas e outros elementos classificados como vitais estratégicos e/ou sensíveis.

Tabela 9 – Número de edifícios, estufas e outros elementos classificados como vitais estratégicos e/ou sensíveis expostos a deslizamentos profundos e superficiais

| | TOTAL | Suscetibilidade a movimentos de vertente profundos | | Suscetibilidade a movimentos de vertente superficiais | |
|-----------------------------------|-------|--|------|---|------|
| | | Número de afetados | % | Número de afetados | % |
| Área de Serviço | 4 | 1 | 25,0 | 1 | 25,0 |
| Estufa | 7 | 2 | 28,6 | 5 | 71,4 |
| Gasómetro | 1 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| Posto de transformação | 5 | 2 | 40,0 | 0 | 0,0 |
| Fábrica | 32 | 2 | 6,3 | 1 | 3,1 |
| Vivenda | 4848 | 918 | 18,9 | 594 | 12,3 |
| Quartel | 5 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| Igreja | 19 | 1 | 5,3 | 0 | 0,0 |
| Hospital/ Centro de Saúde | 2 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| Escola/ Jardim de Infância | 10 | 0 | 0,0 | 1 | 10,0 |
| Câmara Municipal | 1 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 |

5. CONCLUSÕES

Tomando como estudo de caso um setor da bacia hidrográfica do Rio Grande da Pipa, ao longo deste relatório evidenciou-se a importância de identificar e inventariar com rigor a localização e as características dos elementos expostos, como informação de suporte à avaliação da vulnerabilidade e dos danos potenciais, segundo diferentes cenários de susceptibilidade.

Os elementos expostos considerados consistiram em edifícios, rede viária e elementos estratégicos vitais e sensíveis, segundo a classificação das entidades de Proteção Civil. As relações entre a intensidade/magnitude dos movimentos de vertente e grau de perda foram exploradas de forma a contemplar quer a resistência estrutural do elemento afetado (diferentes tipos de estradas e edifícios) quer os impactos originados pelos deslizamentos. Na magnitude, foi explorada a profundidade da superfície de rotura e a respetiva relação com o grau de perda registado através de trabalho de campo.

Para as restantes áreas de estudo consideradas em Portugal no projeto RISKCOAST, considera-se relevante o aprofundamento da análise da população como elemento exposto. Tal não foi realizado no corrente estudo de caso por indisponibilidade de informação geográfica com o nível de desagregação satisfatório para a escala de análise infra-municipal adotada.

6. BIBLIOGRAFIA

Alves, C. (2018) Padrões de vulnerabilidade estrutural em estradas e edifícios associados à ocorrência de movimentos de vertente. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

Antronico, L.; Borrelli, L.; Coscarelli, R.; Gullà, G. (2015) – Time evolution of landslide damages to buildings: the case study of Lungro (Calabria, southern Italy). *Bull Eng Geol Environ* (2015) 74: 47–59.

Baggio, C.; Bernardini, A.; Colozza, R.; Corazza, L.; Della Bella M.; Di Pasquale, G.; Dolce, M.; Goretti, A.; Martinelli, A.; Orsini, G.; Papa, F.; Zuccaro, G. (2007) – Field manual for post-earthquake damage and safety assessment and short term countermeasures (AeDES). JRC Scientific and Technical Reports, European Commission, EUR 22868 EN, Joint Research Centre, Institute for the Protection and Security of the Citizen, Luxembourg, 81 pp.

Bell, R.; Glade, T. (2004) – Quantitative risk analysis for landslides – Examples from BÍldudalur, NW-Iceland. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4: 117–131.

Cardinali, M.; Reichenbach, P.; Guzzetti, F.; Ardizzone, G.; Galli, M.; Cacciano, M.; Castellani, M.; Salvati, P. (2002) – A geomorphological approach to estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2: 57 – 72.

Ciurean, R. L.; Hussin, H.; van Westen, J.; Jaboyedoff, M.; Nicolet, P.; Chen, L.; Frigerio, S.; Glade, T. (2017) – Multi-scale debris flow vulnerability assessment and direct costs estimation of buildings in the Eastern Italian Alps. *Natural Hazards*, 85: 929-957.

Crozier M. J.; Glade T. (2005) – Landslide hazard and risk: issues, concepts, and approach. In: Glade T, Anderson M, Crozier MJ (eds) *Landslide hazard and risk*. Wiley, New York, pp 1-40.

Corominas, J.; van Westen, C.; Frattini, P.; Cascini, L.; Malet, J.P.; Fotopoulou, S.; Catani, F.; Van Den Eeckhaut, M.; Mavrouli, O.; Agliardi, F.; Pitilakis, K.; Winter, M.G.; Pastor, M., Ferlisi, S.; Tofani, V.; Hervás, J.; Smith, J.T. (2014) – Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 73 (2): 209–263.

Cutter, S.L.; Boruff, B.J.; Shirley, W.L. (2003) – Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84-2: 242-261. doi: 10.1111/1540-6237.8402002.

Ettinger, S.; Mounaud, L.; Magill, C.; Yao-Lafourcade, A.-F.; Thouret, J.-C.; Manville, V.; Negulescu, C.; Zuccaro, G.; De Gregorio, D.; Nardone, S.; Uchuchoque, J.; Arguedas, A.; Macedo, L.; Llerena, N. (2016) – Building vulnerability to hydro-geomorphic hazards: Estimating damage probability from qualitative vulnerability assessment using logistic regression. *Journal of Hydrology*, 541: 563–581.

Fell, R.; Corominas, J.; Bonnard, C.; Cascini, L.; Leroi, E.; Savage, W. Z. (2008) – Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*. 102: 85 - 98.

Fuchs, S.; Heiss, K.; Hübl, J. (2007). Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 7 (5), 495 e 506.

Fuchs, S.; Keiler, M.; Zischg, A. (2015) – A spatiotemporal multi-hazard exposure assessment based on property data. *Natural Hazards Earth System Science* 15(9): 2127–2142. doi:10.5194/nhess-15-2127-2015.

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 a apresentar ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

Garcia, R. A. C. (2012). Metodologias de Avaliação da Perigosidade e Risco associado a movimentos de vertente. Aplicação na bacia do rio Alenquer. Dissertação de doutoramento em Geografia na Especialidade em Geografia Física.

Glade, T. (2003) – Vulnerability Assessment in Landslide Risk Analysis. *Die Erde*.

Guillard-Gonçalves, C.; Zêzere, J. (2012) – Landslide susceptibility assessment and validation in the framework of municipal planning in Portugal: the case of Loures Municipality, *Environ. Manage.*, 50: 721–735, doi:10.1007/s00267-012-9921-7, 2012.

Mendes, J.M.; Tavares, A.O.; Santos, P.P. (2020) – Social vulnerability and local level assessments: a new approach for planning. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environmen*, 11-1: 15-43. doi: 10.1108/IJDRBE-10-2019-0069.

Jaedicke, C.; Van Den Eeckhaut, M.; Nadim, F.; Hervás, J.; Kalsnes, B.; Vangelsten, B. V.; Smith, J.T.; Tofani, V.; Ciurean, R.; Winter, M.G.; Sverdrup-Thygeson, K.; Syre, E.; Smebye, H. (2014) – Identification of landslide hazard and risk “hotspots” in Europe. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2): 325–339. <http://doi.org/10.1007/s10064-013-0541-0>.

Julião, R. P.; Nery, F.; Ribeiro, J. L.; Branco, M. C.; Zêzere, J. L. (2009) – Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal. Autoridade Nacional de Protecção Civil. Lisboa.

Kang, H.; Kim, Y. (2016) – The physical vulnerability of different types of building structure to debris flow events. *Natural Hazards*, 80(3): 1475–1493.

Kappes, M. S.; Keiler, M. (2012) – Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. *Applied Geography*, 32(2): 577–590.

Léone, F. (1996) – Concept de Vulnérabilité appliqué a l'évaluation des Risques génères par lesphénomènes de Mouvements de Terrain. Thèse Doctorat de l'Université Joseph Fourier. GrenobleI. Documents du BRGM 250. Éditions BRG.

Michael-Leiba, M.; Baynes, F.; Scott, G. (2000) – Quantitative landslide risk assessment of Cairns, Australia, in: *Landslides in research, theory and practice*, edited by Bromhead, E., Dixon, N., and Ibsen, M.-L., Thomas Telford, Cardiff, 1059–1064, 2000.

Oliveira, S.C.; Zêzere, J.L.; Garcia, R.A.C; Pereira, S. (2016) – Padrão de deformação de movimentos de vertente em áreas periurbanas associados a eventos de instabilidade. *International Conference on Urban Risks*, Lisbon, 30 Junho-2 Julho 2016, ISBN: 978-989-95094-1-2, pp 363-370. <http://www.ceru-europa.pt/icur2016/>

Papathoma-Köhle, M.; Kappes, M.; Keiler, M.; Glade, T. (2011) – Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. *at Hazards* 58, 645–680 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9632-4>

Papathoma-Köhle, M. (2016). Vulnerability curves vs. vulnerability indicators: application of an indicator-based methodology for debris-flow hazards. *Natural Hazards Earths System Sciences*, 16, 1771–1790, 2016.

Peduto, D.; Ferlisi, S.; Nicodemo, G.; Reale, D.; Pisciotta, G.; Gullà, G. (2017) – Empirical fragility and vulnerability curves for building exposed to

slow-moving landslides at the medium and large scales. *Landslides*, 14: 1993-2007.

Puissant, A.; Van Den Eeckhaut, M.; Malet, J.-P.; Maquaire, O. (2013) – Landslide consequence analysis: a region-scale indicator-based methodology. *Landslides* 11:843–858.

Schuster, R.L.; Highland, L.M. (2007) – Overview of the Effects of Mass Wasting on the Natural Environment. *Environmental and Engineering Geoscience*, 13: 25-44.
<http://dx.doi.org/10.2113/gseegeosci.13.1.25>.

Soldato, M.; Bianchini, S.; Calcaterra, D.; Vita, P.; Martire, D.; Tomás, R.; Casagli, N. (2017) – A new approach for landslide-induced damage assessment. *Geomatics, Natural hazards and Risk*, 14 pp.

Sterlacchini, S.; Akbas, S. O.; Blahut, J.; Mavrouli, O.; Garcia, C.; Quan Luna, B.; Corominas, J. (2014) – Methods for the characterization of the vulnerability of elements at risk. In *Mountain Risks: From Prediction to Management and Governance*, 233–273. Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-6769-0_8.

Tapsell, S.M.; Penning-Rowsell, E.C.; Tunstall, S.M.; Wilson, T. (2002) – Vulnerability to flooding: health and social dimensions. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 360. 1511-1525.

Uzielli, M.; Nadim, F.; Lacasse, S.; Kaynia, A. M. (2008) – A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. *Engineering Geology*, 102(3–4): 251–256.
<http://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.011>.

Winter, M.G.; Smith, J.T.; Fotopoulou, S.; Pitilakis, K.; Mavrouli, O.; Corominas, J.; Agyroudou, S. (2013) – The physical vulnerability of roads to debris flow. *Technical Committee 208*.

Zêzere J.L.; Oliveira, S.C.; Garcia, R.A.C. (2007) – Landslide risk analysis in the area North of Lisbon (Portugal): evaluation of direct and indirect costs resulting from a motorway disruption by slope movements. *Landslides*, 4: 123-136.

Zêzere, J.L.; Ramos, C.; Reis, E.; Garcia, R.A.C.; Oliveira, S. (2008) – *Riscos e Protecção Civil – Diagnóstico Estratégico*, Lisboa, CCDR-LVT, PROTOVT, 34 p.