

Deliverable E 2.2.2: Informe técnico de elementos expuestos – Arruda dos Vinhos test site (Portugal)

**Informe del GT2 – Actividade 2.2: Evaluación de la exposición y
la vulnerabilidad**

Due date of deliverable: 30/09/2020

Actual submission date: 18/02/2020

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. INTRODUCCIÓN	3
2. TIPO DE ELEMENTOS EXPUESTOS.....	5
3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN Y LAS POSIBLES PÉRDIDAS.....	8
3.1. INTRODUCCIÓN.....	8
3.2. BASES DE DATOS E INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	10
3.3. TIPOLOGÍA, DISTRIBUCIÓN DE CARRETERAS Y EDIFICIOS	11
3.4. REGISTRO DE LOS DAÑOS EN LOS ELEMENTOS EXPUESTOS CAUSADOS POR LOS MOVIMIENTOS DE LOS TALUDES.....	15
4. RESULTADOS - EXPOSICIÓN A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA Y PÉRDIDAS POTENCIALES.....	17
5. CONCLUSIONES	30
6. REFERENCIAS.....	31

1. INTRODUCCIÓN

El GT2 se basa en el desarrollo de herramientas cartográficas de prevención de riesgos para su aplicación en la ordenación del territorio y la planificación de emergencias. Las principales herramientas a desarrollar incluyen la creación y actualización de la cartografía de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo asociada a las regiones costeras del SUDOE, adaptada a los diferentes escenarios futuros de riesgo previstos por el cambio climático.

La actividad 2.2 - Evaluación de la exposición y la vulnerabilidad, del GT2 del proyecto RISKCOAST se basa en la exploración de los datos censales disponibles. De esta forma se pretende cuantificar la exposición, contabilizando el número de personas, edificios (viviendas) y extensión de redes, situados en zonas de alta y muy alta susceptibilidad/peligrosidad (evaluadas en la actividad 2.2.1). En el análisis de la exposición se consideran las poblaciones residentes, pero también la población flotante asociada a la dinámica del turismo en las regiones costeras del SUDOE. Además, los elementos estratégicos, vitales y sensibles expuestos, fundamentales para la respuesta a las emergencias (por ejemplo, la red hospitalaria y sanitaria, la red escolar, el equipamiento de los agentes de protección civil) y el apoyo básico a las poblaciones (por ejemplo, la red fundamental de carreteras, los embalses y las redes de suministro de agua, la red eléctrica) son objeto de un tratamiento diferenciado.

El objetivo principal del presente informe técnico (E.2.2.2) es definir el conjunto de procedimientos necesarios para el inventario de los elementos expuestos en el área de estudio del SUDOE de la cuenca del Río Grande da Pipa (cuenca GPR) (Fig. 1).

La coordinación del GT2 está asegurada por el equipo IGOT-ULISBOA que establecerá los procedimientos metodológicos para la producción de herramientas cartográficas de prevención de riesgos. La aplicación de estas metodologías a las diferentes áreas de estudio será desarrollada por cada uno de los beneficiarios participantes en el GT2. El equipo del IGOT-ULISBOA asegura a cada uno de los beneficiarios el apoyo técnico necesario para la aplicación de las metodologías propuestas.

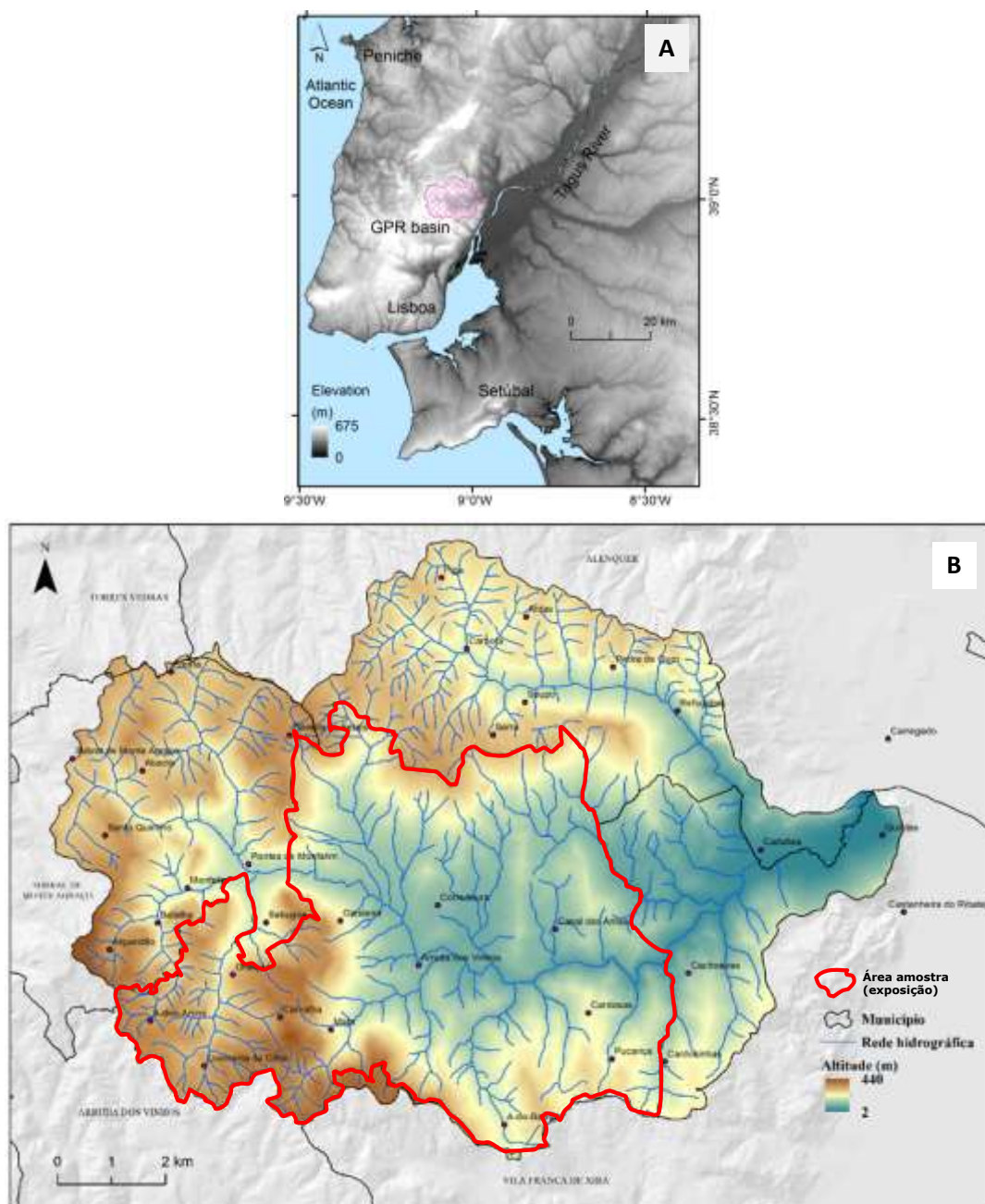


Figura 1 – Entorno geográfico de la cuenca del Rio Grande da Pipa (RGP). La zona delimitada en rojo se utilizó para evaluar la exposición al movimiento de ladera.

2. TIPO DE ELEMENTOS EXPUESTOS

La determinación de la vulnerabilidad de cualquier elemento o conjunto de elementos expuestos a la ocurrencia de movimientos de ladera (elementos en riesgo) es un paso esencial en el marco de la evaluación de riesgos (por ejemplo, Léone *et al.*, 1996, Kang y Kim, 2016). Los elementos expuestos, en este contexto, sirven de base para la estimación de los grados esperados de pérdida (vulnerabilidad), destacando Garcia (2012) que: i) un elemento no es vulnerable si no es afectado por ningún peligro; ii) un peligro sólo causa riesgo si afecta a un elemento; iii) el riesgo depende del grado de exposición del elemento.

Los elementos expuestos se han agrupado genéricamente en tres conjuntos (Figura 2; Léone, 1996; Crozier y Glade, 2005; Garcia, 2012; Puissant *et al.*, 2013):

- (i) Personas (que residen, trabajan o se mueven en la zona expuesta).
- ii) Bienes y propiedades (por ejemplo, edificios, vehículos);
- iii) Servicios/funciones (por ejemplo, suministro de agua, electricidad, gas, transporte, comunicaciones).

a) Personas

Los individuos y sus comunidades constituyen los elementos expuestos más relevantes. En un momento y espacio determinados, la presencia permanente de personas (población residente) y la presencia transitoria de personas (población presente o flotante) se consideran en la evaluación de la exposición. Su vulnerabilidad estará determinada por el daño corporal a las personas que, por ejemplo, viven, trabajan o se mueven en una determinada zona potencialmente peligrosa, y se caracterizan por su edad, género, necesidades especiales, condición económica, educación, etnia, entre otros factores que condicionan la vulnerabilidad (Michael-Leiba *et al.*, 2000; Cardinali *et al.*, 2002; Cutter *et al.*, 2003; Bell y Glade, 2004).

Los daños corporales (consecuencias humanas directas) dependen principalmente de factores intrínsecos al individuo o a la comunidad, por ejemplo, la percepción de su exposición, el conocimiento de las medidas a tomar, la movilidad, la edad y la salud. Otros factores condicionan la capacidad de recuperación en la situación posterior a la catástrofe, como el género, la situación laboral, el nivel de educación y las condiciones económicas. Cabe señalar que las personas mayores, los niños o las personas con mala salud, independientemente del contexto económico en el que vivan, son en todos los casos, por sí mismos, más vulnerables (Tapsell *et al.*, 2002).

b) Activos y propiedades

En lo que respecta a los bienes e inmuebles, los elementos expuestos que se consideran suelen consistir en la identificación y localización de los edificios, principalmente los que tienen una función residencial. Respecto a estos elementos, la evaluación de la vulnerabilidad se ha centrado fundamentalmente en la evaluación del daño estructural, es decir, la vulnerabilidad depende fundamentalmente de la relación entre la resistencia estructural del elemento y la intensidad del fenómeno (por ejemplo, Garcia, 2012). Los elementos expuestos más utilizados en la evaluación de la vulnerabilidad física son los edificios (por ejemplo, Bell y 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).

La interacción entre los movimientos de ladera y las zonas urbanas ha cobrado relevancia en las últimas décadas con costes/impactos muy significativos, tanto desde el punto de vista físico como social y económico (Antronico *et al.*, 2015). El impacto socioeconómico causado por los movimientos de ladera se ha visto agravado por el grado de dispersión/difusión de los edificios en las zonas susceptibles de sufrir movimientos de ladera (Schuster y Highland, 2007).

c) Servicios, redes y funciones vitales

Esta tipología de elementos expuestos incluye todos los elementos representados espacialmente por edificios y redes, que realizan servicios y funciones vitales para la continuidad de las actividades humanas durante y después de la catástrofe (Antronico et al., 2015). Como se ha mencionado en relación con los edificios residenciales, estos servicios y redes, en la lógica de los procesos de expansión urbana, han ido ocupando zonas de alta susceptibilidad, en el caso concreto del área de estudio en la región norte de Lisboa en relación con los movimientos de ladera (por ejemplo, Zêzere et al., Oliveira et al., 2016).

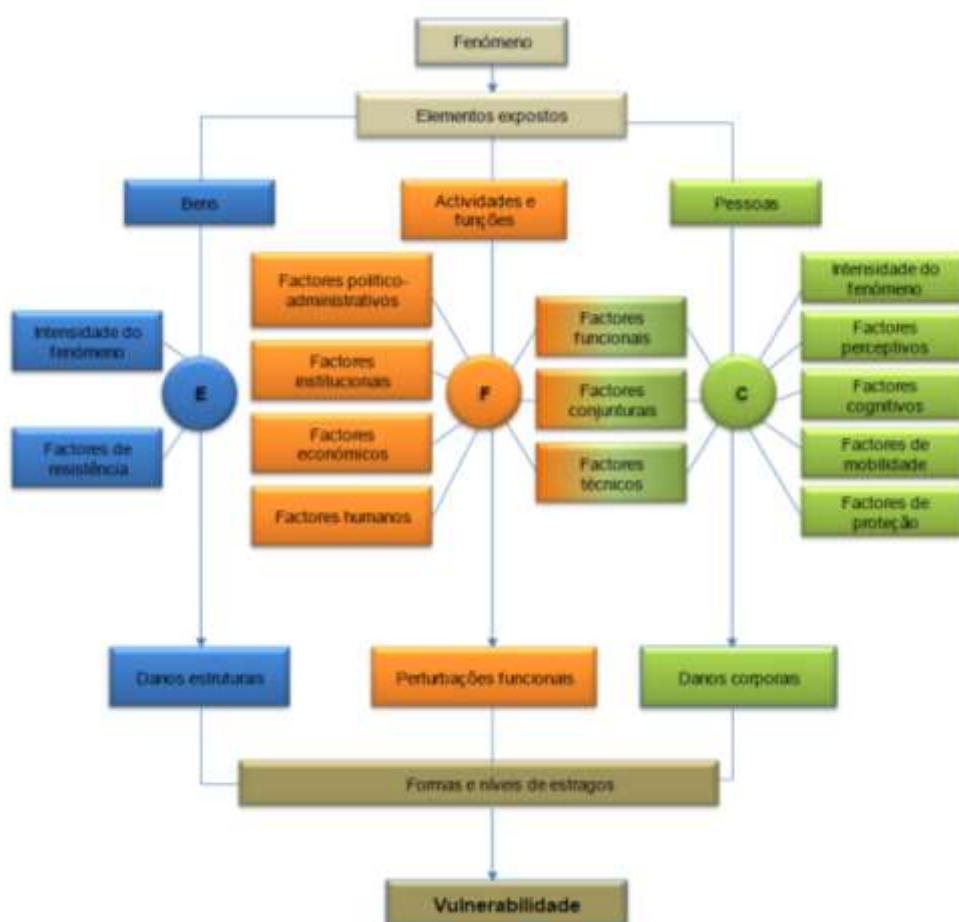


Figura 2 – Componentes y factores condicionantes de la vulnerabilidad (adaptado de Léone, 1996, Fonte: Garcia, 2012).

En cuanto a los elementos vitales, Julião et al. (2009) los clasifican como de importancia Estratégica, Vital y/o Sensible (EEEVS) y, por tanto, fundamentales para la respuesta a la emergencia (por ejemplo,

la red hospitalaria y sanitaria, la red escolar, los parques de bomberos y las instalaciones de otros agentes de protección civil y autoridades civiles y militares) y de apoyo básico a las poblaciones (por ejemplo, los embalses y las redes principales de abastecimiento de agua, la red eléctrica, las centrales de telecomunicaciones y los relés).

La vulnerabilidad asociada a este tipo de elementos expuestos está relacionada con el conjunto de factores intrínsecos a la propia sociedad, ya que éstos influyen en la forma en que la comunidad afectada reacciona y encuentra soluciones para el restablecimiento de actividades y funciones (por ejemplo, factores políticos, económicos, institucionales y cíclicos). El mantenimiento de las funciones aseguradas por este tipo de elementos expuestos puede estar condicionado por daños estructurales del lugar donde se encuentran, o por daños corporales si tenemos en cuenta a las personas que aseguran el servicio/función (Léone 1996; Garcia, 2002).

En efecto, son muchos los factores que condicionan el tipo de daños que pueden sufrir los elementos expuestos (Léone, 1996) (Figura 2), por lo que la reducción de la exposición y la mitigación de las posibles consecuencias asociadas a los movimientos de ladera deben basarse en una planificación territorial eficaz (Fell *et al.*, 2008). Para ello, es fundamental establecer, en el caso de los movimientos de ladera, la relación entre la incidencia espacio-temporal de los peligros y los elementos expuestos y vitales (Jaedicke *et al.*, 2014).

3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN Y LAS POSIBLES PÉRDIDAS

3.1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se considera, como ejemplo, la evaluación de los elementos expuestos a los movimientos de ladera en el sector de la cuenca hidrográfica del Río Grande da Pipa que se encuentra en el municipio de Arruda dos Vinhos, región de Lisboa. La evaluación de los elementos expuestos en esta zona de estudio forma parte de un proceso más amplio de evaluación de la vulnerabilidad física definido por Alves (2018) (Figura 3).

La evaluación de los elementos expuestos se utiliza en este contexto para, junto con la evaluación de la vulnerabilidad física y la susceptibilidad, permitir la estimación del grado de pérdida potencial.

La evaluación de la exposición a los movimientos de ladera y la determinación de las pérdidas potenciales de estructuras e infraestructuras es muy importante para la planificación del uso del suelo (Uzielli *et al.*, 2008; Papathoma-Köhle *et al.*, 2011; Guillard-Gonçalves y Zêzere, 2012), protección civil y planificación de emergencias (Fell *et al.*, 2008; Julião *et al.*, 2009; Kappes *et al.*, 2012; Corominas *et al.*, 2014; Sterlacchini *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2016), así como para las compañías de seguros.

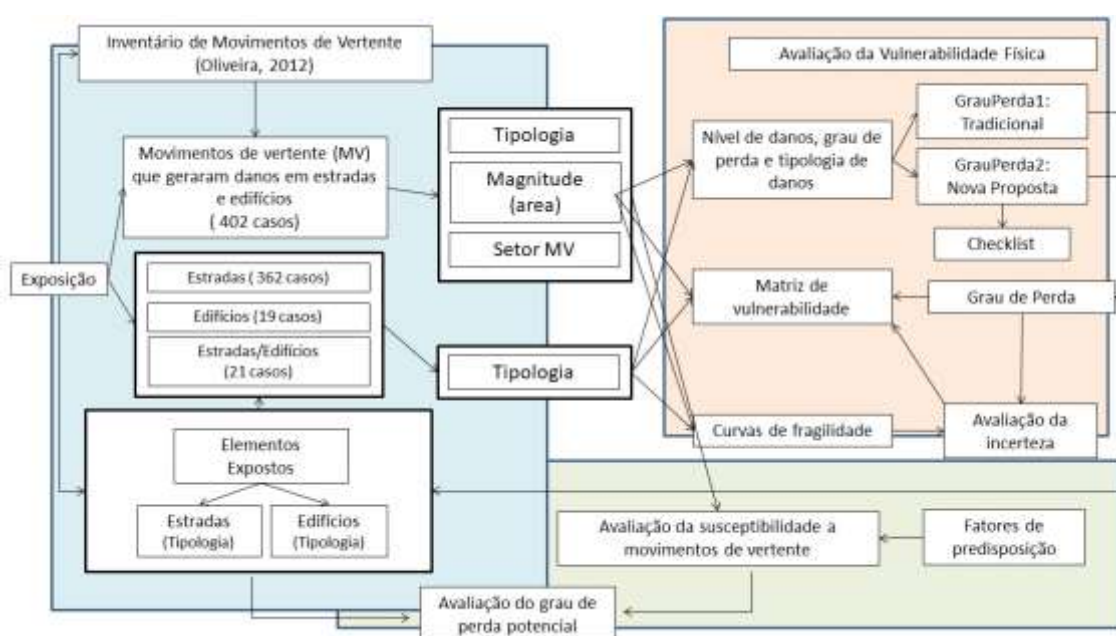


Figura 3 – Esquema metodológico para la evaluación de la vulnerabilidad física y las pérdidas potenciales de las carreteras y edificios ante los movimientos de ladera de tipo deslizamiento (Alves, 2018).

Para evaluar las pérdidas potenciales en la zona de estudio, se asumen todas las carreteras y edificios, cuyas tipologías se describen en la sección 4.2, con la excepción de los edificios vacíos. Para los diferentes tipos de edificios, se explotan los datos de CENSOS 2011 para determinar la exposición y las pérdidas potenciales. Los mapas de susceptibilidad (Fig. 4A, 4B) se elaboran a partir de la metodología definida en el informe E2.1.2 (Informe técnico de

susceptibilidad/peligro). Para la evaluación de la exposición, se utilizaron las clases de susceptibilidad Alta y Muy Alta (Figs. 4A y 4B) cruzando la distribución espacial de los rasgos expuestos con las áreas definidas de alta y muy alta susceptibilidad a los deslizamientos profundos y superficiales. El modelo de deslizamientos superficiales tenía como variable dependiente todos los deslizamientos con profundidad de ruptura $\leq 1,5$ m (volumen hasta 483 m³) y el modelo de deslizamientos profundos se basaba en todos los deslizamientos con profundidad de ruptura $\geq 1,5$ m (volumen superior a 483 m³). Para la demostración del grado de pérdida potencial en función de la exposición de las carreteras y edificios a los desprendimientos profundos y superficiales, se analizaron todos los registros de daños de estos elementos expuestos en la zona de estudio.

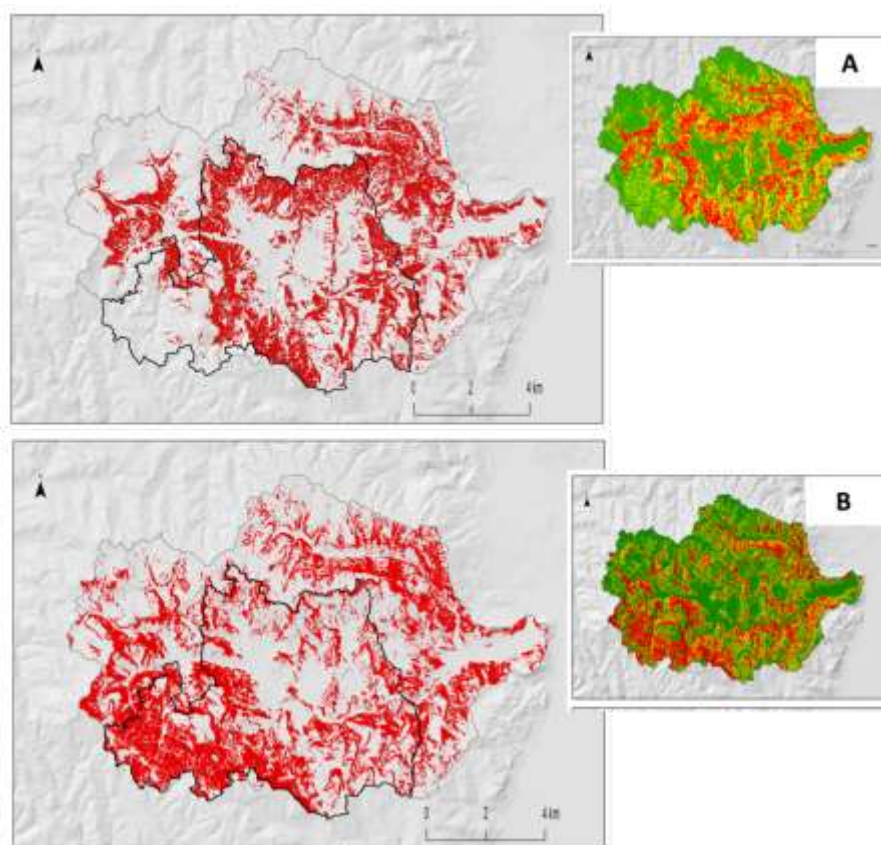


Figura 4 – Área clasificada con muy alta y alta susceptibilidad a los deslizamientos profundos (A) y a los deslizamientos superficiales (A) (en rojo en los mapas de la izquierda) a partir de los respectivos mapas de susceptibilidad (mapas de la derecha). Adaptado de Alves (2018).

3.2. BASES DE DATOS E INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

La información cartográfica y los datos de referencia descritos y caracterizados en esta sección constituyen la base para la determinación de la vulnerabilidad física de las carreteras y los edificios a los movimientos de ladera, para la evaluación de la susceptibilidad a los movimientos de ladera y para la evaluación de la exposición a los movimientos de ladera y la determinación de las pérdidas potenciales. La preparación y normalización de las diferentes estructuras y formatos de datos (Tabla 1) no siempre ha sido fácil, en particular debido a la dificultad de adquirir, para una misma escala de referencia (1:10 000), información sobre los elementos expuestos (carreteras y edificios) en formato vectorial.

Tabla 1 – Fuentes cartográficas - Formato y estructura de los datos básicos.

Escala /Data	Designação	Formato/estrutura	Produtor (proprietário)
1:10 000	Base Geográfica de Referência da Informação (BGRI) 2011	Vetorial (polígonos)	Instituto Nacional de Estatística (INE)
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

* Fuentes utilizadas en la identificación y localización de los elementos expuestos

3.3. TIPOLOGÍA, DISTRIBUCIÓN DE CARRETERAS Y EDIFICIOS

Los diferentes tipos de carreteras y edificios, definidos a partir de su tipología constructiva, se utilizan en este trabajo para determinar la vulnerabilidad física y la exposición a los movimientos de ladera.

En la evaluación de la vulnerabilidad física sólo se utilizan los tramos de carretera o los edificios que fueron afectados por los

movimientos de ladera en la cuenca del Río Grande da Pipa. Para maximizar la base de datos de los daños en los elementos expuestos por los movimientos de ladera, se utilizan todos los registros de incidentes en toda la cuenca del RGP. La evaluación de la exposición a los movimientos de ladera, y la posterior determinación de las pérdidas potenciales relacionadas con las carreteras y los edificios, se realiza, por razones relacionadas con la disponibilidad de datos, sólo en una zona de muestra en la cuenca del Río Grande da Pipa cuyos límites están definidos por la cuenca adscrita al municipio de Arruda dos Vinhos (Fig. 5).

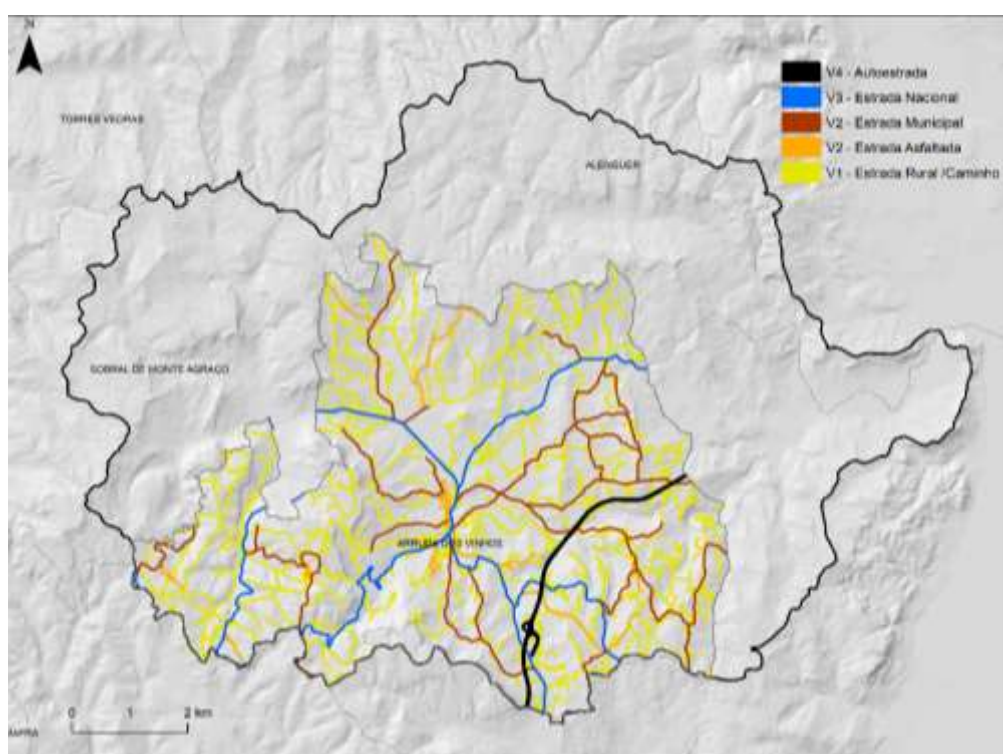


Figura 5 – Red de carreteras por tipo en la zona del municipio de Arruda dos Vinhos perteneciente a la cuenca del Río Grande da Pipa.

La resistencia de los edificios y carreteras está intrínsecamente relacionada con la tipología constructiva, por lo que se han podido identificar cuatro categorías distintas de carreteras y edificios (García, 2012; Oliveira, 2016). Las carreteras, según la relación tipología constructiva/resistencia estructural, se dividen en (Fig. 5): (V1) - camino rural de tierra o con base o capa de regularización de otros materiales menos resistentes (por ejemplo, macadán, tout-

venant) (V1a) - caminos rurales (camino rural de tierra sin base o capa de regularización, y con imposibilidad de paso (anchura) de un vehículo a motor); (V2) - camino municipal o similar siempre que esté asfaltado; (V3) - carretera nacional; (V4) - autopista. Sin entrar en detalles sobre la rigidez/flexibilidad del tipo de pavimento y las técnicas de construcción, se supone que la resistencia estructural de las carreteras aumenta progresivamente de V1 a V4.

La categorización de los edificios definida por la relación tipología constructiva y resistencia estructural (Glade, 2003; Baggio *et al.*, 2007; Papathoma-Köhle, 2016) se ha basado en las siguientes clases: (E1) - edificios con otros elementos resistentes (madera, metal); (E2) - edificios con adobe o piedra apisonada; (E3) - edificios con muros de mampostería con mortero; (E4) - edificios con elementos resistentes de hormigón. Al igual que en el caso de las carreteras, se supone que la resistencia estructural de los edificios frente a la aparición de movimientos de ladera aumenta progresivamente de E1 a E4, donde los edificios con elementos resistentes de hormigón armado suelen ser los más resistentes. En la zona de estudio, esta encuesta sólo se llevó a cabo en los edificios utilizados para evaluar los patrones de vulnerabilidad física. Para el resto de edificios del área de estudio la tipología fue inferida por BGRI (unidad cartográfica más detallada) a partir del CENSOS 2011 (Fig. 6).

En el caso de los edificios clasificados como elementos vitales, estratégicos y sensibles según la propuesta de Julião *et al.* (2009), su distribución se presenta en la Fig. 7. La consulta del CENSOS 2011 permitió calcular la frecuencia absoluta y relativa de los edificios en cada BGRI, según su tipología constructiva. Estos datos ayudarán a determinar el tipo de edificio en la evaluación de la exposición y las posibles pérdidas relacionadas con la ocurrencia de movimientos de ladera.

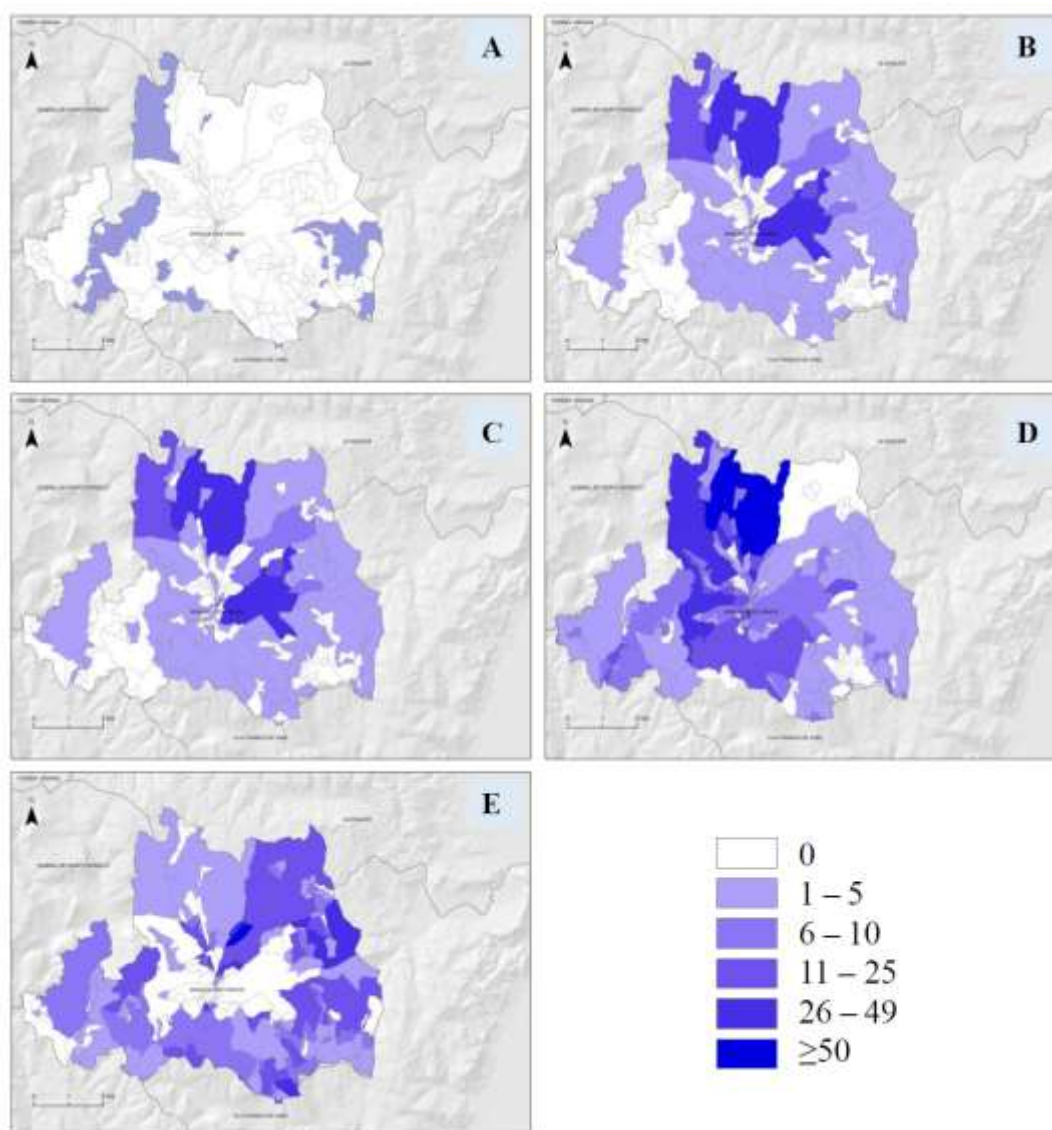


Figura 6 - Frecuencia absoluta de los edificios según el tipo de construcción:
 A - E1. Edificios con otros elementos resistentes (madera, metal); B - E2. Edificios de adobe o piedra apisonada; C - E3. Edificios con muros de mampostería de mortero (sin placa); D - E3. Edificios con muros de mampostería de mortero (con placa); E - E4. Edificios con elementos resistentes al hormigón. Fonte dados: INE (março de 2019).

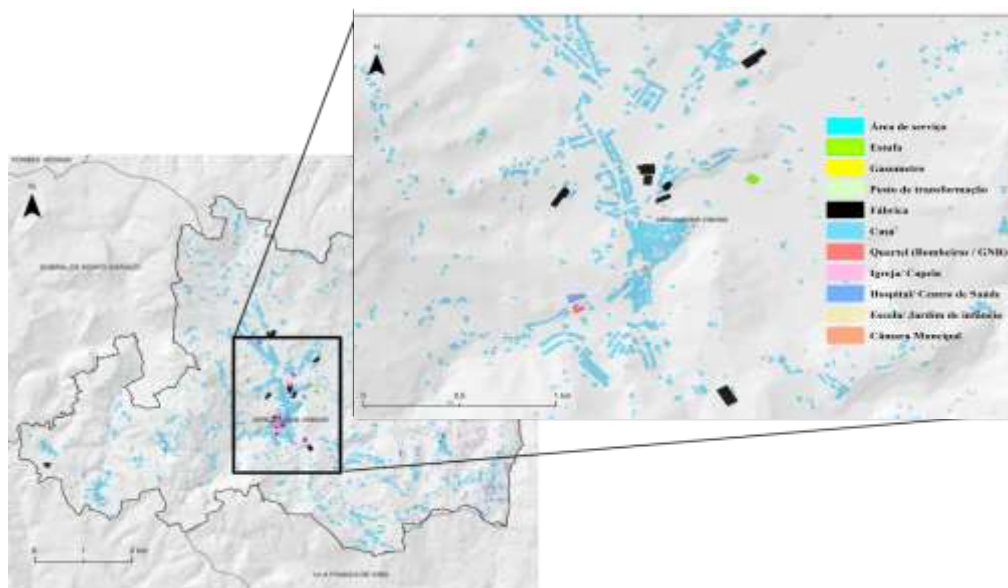


Figura 7 – Edificios clasificados como elementos vitales, estratégicos y sensibles en el área del municipio de Arruda dos Vinhos en la cuenca del RGP.

3.4. REGISTRO DE LOS DAÑOS EN LOS ELEMENTOS EXPUESTOS CAUSADOS POR LOS MOVIMIENTOS DE LOS TALUDES

La relación de los daños causados por los movimientos de ladera se establece en este trabajo teniendo en cuenta todos los registros de campo ocurridos en la cuenca del RGP y no sólo los ocurridos en el área de muestra del municipio de Arruda dos Vinhos.

Del inventario de movimientos de ladera en la cuenca del RGP, se seleccionaron 394 movimientos de ladera de tipo deslizamiento que causaron daños en edificios y/o carreteras para evaluar la vulnerabilidad física de estos elementos expuestos (Tabla 2). De estos 394 desprendimientos, 42 afectaron a edificios y 352 a carreteras. Los registros de daños en edificios y carreteras por otros tipos de movimientos de ladera, como la escorrentía o el vuelco, son muy reducidos o incluso inexistentes, por lo que el análisis de este trabajo se ha limitado a los daños causados por los desprendimientos. En cuanto a los movimientos de ladera de tipo deslizamiento, se encuentra que la mayor parte de los registros de daños están asociados a la ocurrencia de deslizamientos traslacionales poco profundos (41,5%), que ocurren principalmente

en los taludes de las carreteras, y a la ocurrencia de deslizamientos rotacionales profundos y poco profundos con un 28,4% de casos cada uno (Alves, 2018).

Al analizar los tipos de carreteras y edificios dañados por los desprendimientos en la zona de estudio (cuadro 2), la mayoría de los desprendimientos se produjeron en carreteras municipales (156 casos) y nacionales (68 casos). En las carreteras y caminos rurales se produjeron 56 sucesos y sólo en 18 casos los desprendimientos afectaron a tramos de autopista. Hay que tener en cuenta que una misma carretera puede estar afectada en varios tramos (partes de la carretera). En cuanto al número de registros de daños en edificios, se observa que es sustancialmente menor que en el caso de las carreteras (42 casos). La mayoría de los movimientos de ladera que generaron daños afectaron a edificios de adobe o barro (17 registros), seguidos de edificios con muros de mampostería con mortero y edificios con elementos portantes de hormigón, 14 y 10 casos, respectivamente. Por último, sólo se registró un caso de un edificio con otros elementos resistentes (madera, metal) afectados.

Tabla 2 – Distribución de los tramos de carretera y edificios, por tipología de construcción, afectados por los movimientos de ladera en la cuenca del RGP.

Estradas	Nº de (troços) estradas com		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,	1
TOTAL	352		TOTAL	42

4. RESULTADOS - EXPOSICIÓN A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA Y PÉRDIDAS POTENCIALES

La exposición a los movimientos de ladera se presenta sólo para el área del municipio de Arruda dos Vinhos, perteneciente a la cuenca del Rio Grande da Pipa, basándose en dos escenarios distintos, la exposición de diferentes tipos de carreteras y edificios a los deslizamientos profundos y a los deslizamientos superficiales. La exposición se define por la presencia de los elementos expuestos en las zonas clasificadas con alta y muy alta susceptibilidad a los deslizamientos profundos (Fig. 8) y a los deslizamientos superficiales (Fig. 9).

La tabla 3 resume la exposición de los distintos tipos de carreteras a los deslizamientos profundos. Las autopistas (V4) tienen 4.006 m (36,3%) de su recorrido en zonas susceptibles de sufrir estos desprendimientos, mientras que las carreteras nacionales (V3) registran 8.377 m (30,3%). Al igual que en el caso anterior, las carreteras pavimentadas (V2) y los caminos rurales/senderos (V1) destacan por las mayores extensiones de exposición a desprendimientos profundos (18.871 m (28,6%) y 74.973 m (33,1%), respectivamente).

La tabla 4 resume la exposición de los distintos tipos de carreteras a los deslizamientos 5.475 m (46,3%) del trazado de la autopista (V4) se encuentran en zonas clasificadas como de alta a muy alta susceptibilidad a los movimientos de ladera superficiales. Hay que tener en cuenta que los tramos de autopista que se apoyan en viaductos, y que pueden haber sido clasificados como expuestos a desprendimientos, sólo están realmente expuestos si sus pilares están situados en zonas de alta a muy alta susceptibilidad. Las carreteras nacionales (V3) presentan 7.221 m (26,5%), de su recorrido en zonas más susceptibles. Las carreteras asfaltadas (V2) y los caminos rurales/senderos (V1) tienen las mayores extensiones en zonas susceptibles (15.492 m (24,1%) y 66.486 m (29,7%), respectivamente).

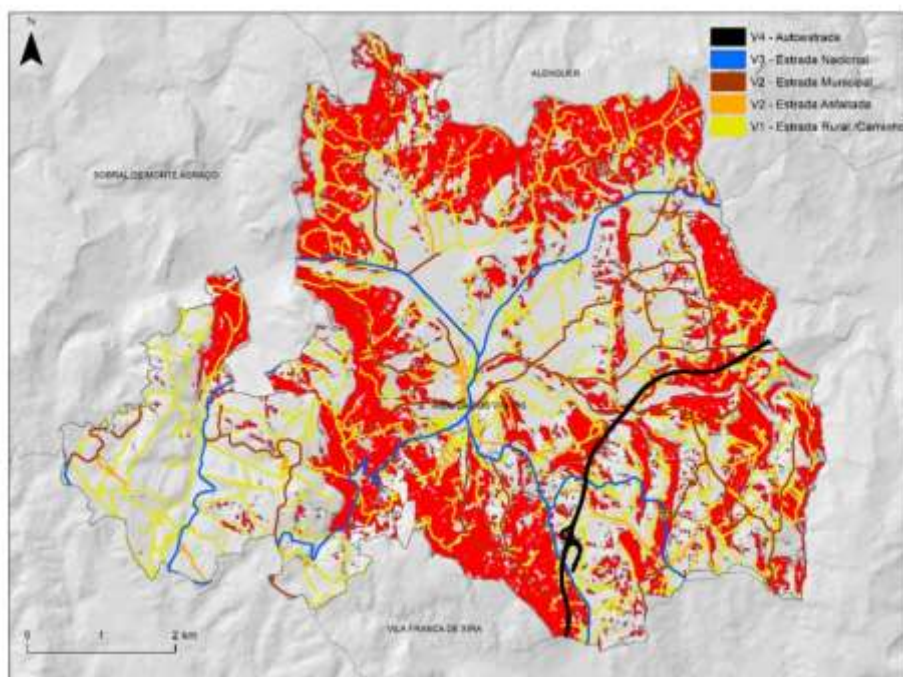


Figura 8 – Susceptibilidad de alta a muy alta a deslizamientos profundos (en rojo) y distribución de los diferentes tipos de carreteras en la cuenca del RGP.

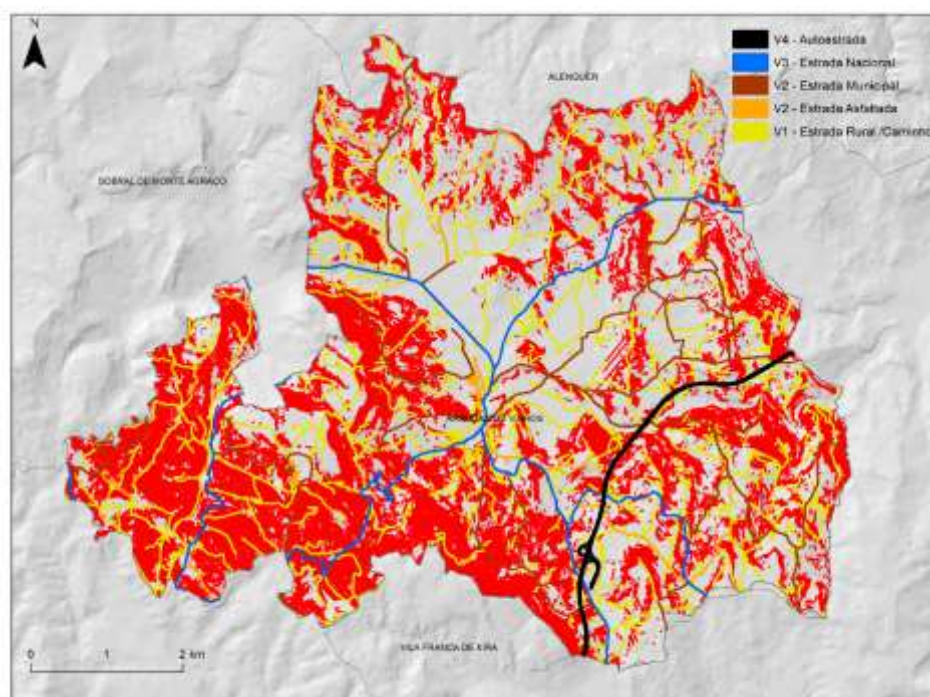


Figura 9 - Susceptibilidad de alta a muy alta a deslizamientos superficiales (en rojo) y distribución de los diferentes tipos de carreteras en la cuenca del RGP.

Tabla 3 – Exposición por tipología de carretera a deslizamientos profundos en la zona del municipio de Arruda dos Vinhos situada en la cuenca del RGP.

	Autoestrada (V4)			Estrada Nacional (V3)			Estrada Asfaltada (V2)			Estrada rural/Caminho (V1)		
	NS	S	% Suscetível	NS	S	% Suscetível	NS	S	% Suscetível	NS	S	% 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

NS – Não suscetível; S - suscetível

Tabla 4 – Exposición por tipología de carretera a deslizamientos superficiales en la zona del municipio de Arruda dos Vinhos situada en la cuenca del RGP.

	Autoestrada (V4)			Estrada Nacional (V3)			Estrada Asfaltada (V2)			Estrada rural/Caminho (V1)		
	NS	S	% Suscetível	NS	S	% Suscetível	NS	S	% Suscetível	NS	S	% 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

NS – Não suscetível; S – suscetível

En el caso de los edificios, se utilizaron los datos del Censo de 2011 para determinar el número de edificios de cada tipo por subsección estadística (BGRI). Así, cruzando las zonas de alta y muy alta susceptibilidad a deslizamientos (profundos e superficiales) con el BGRI, es posible conocer en cada subsección estadística qué fracción del área es susceptible a deslizamientos superficiales y profundos y, por tanto, inferir la exposición probable de estos elementos, expresada como probabilidad conjunta (Tablas 5, 6, 7, 8 y 9). Para ello, se determina la frecuencia relativa de cada tipo de edificio por subsección estadística y ese valor se multiplica por la frecuencia relativa del área de la subsección estadística clasificada con susceptibilidad alta y muy alta. La exposición probable traduce de forma cuantitativa, por subsección estadística, la posibilidad conjunta de que un determinado edificio sea de un determinado tipo y esté incluido en una zona de alta y muy alta susceptibilidad a los desprendimientos superficiales y profundos.

La figura 10 y la tabla 5 informan de la probabilidad conjunta de los edificios con "estructura de hormigón armado". El número de edificios varía entre 1 y 59 y el porcentaje de superficie de las subsecciones del BGRI clasificadas con mayor susceptibilidad a los deslizamientos profundos varía entre el 0 % y el 45,6 %, y entre el 0 % y el 71,3 % para los deslizamientos superficiales. La probabilidad conjunta de exposición varía entre 0 y 0,4 para los profundos y entre 0 y 0,63 para los movimientos superficiales.

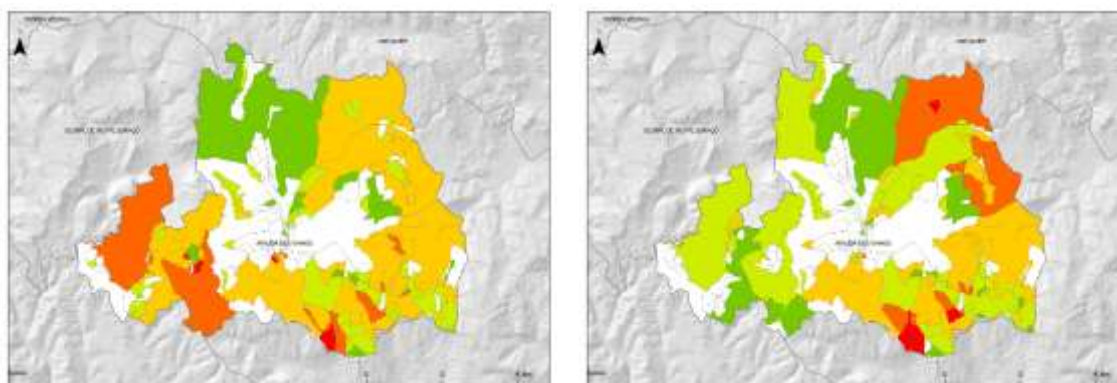


Figura 10 – Exposición probable de edificios de hormigón armado por subsección estadística. La figura de la izquierda representa la exposición a deslizamientos profundos y la figura de la derecha representa la exposición a deslizamientos superficiales.

Tabla 5 – Probabilidad conjunta de que los edificios con "estructura de hormigón armado" estén expuestos a deslizamientos profundos y superficiales por BGRI. Sólo se presentan las 10 BGRI con mayor número de edificios de esta tipología

	Área da BGRI (m²)	Número de edificios com estrutura de betão armado	Área suscetível a deslizamentos profundos (m²)	Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos profundos	Área suscetível a deslizamentos superficiais (m²)	Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos superficiais	Número Total edificios na BGRI	Prob edificio	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

La tabla 6 informa de la probabilidad conjunta para los edificios con "estructura de muro de mampostería con forjado". El número de edificios varía entre 1 y 56 y el porcentaje de superficie de las subsecciones del BGRI clasificadas con mayor susceptibilidad al deslizamiento profundo varía entre el 0 % y el 68,6 %, y entre el 0 % y el 76,1 % para el deslizamiento superficial. La probabilidad conjunta de exposición varía entre 0 y 0,63 para el deslizamiento profundo y entre 0 y 0,7 para el deslizamiento superficial.

La tabla 7 informa de la probabilidad de unión para los edificios con "estructuras de muros de mampostería sin placa". El número de edificios varía entre 1 y 26 y el porcentaje de superficie de las subsecciones del BGRI clasificadas con mayor susceptibilidad al deslizamiento profundo varía entre 0 % y 26,4 %, y entre 0 % y 42,6 % para el deslizamiento superficial. La probabilidad conjunta de exposición varía entre 0 y 0,2 para el deslizamiento profundo y entre 0 y 0,30,19 para el deslizamiento superficial..

Tabla 6 - Probabilidad conjunta de los edificios con "estructura de muros de mampostería con placa" de estar expuestos a deslizamientos profundos y superficiales por BGRI. Sólo se presentan las 10 BGRI con mayor número de edificios de esta tipología

	Área da BGRI (m²)	Número de edificios com estrutura de parede de alvenaria com placa	Área suscetível a deslizamento s profundos (m²)	Prob. área da BGRI suscetível a deslizamento s profundos	Área suscetível a deslizamento s superficiais (m²)	Prob. área da BGRI suscetível a deslizamento s superficiais	Número Total edificios na BGRI	Prob edificio	Prob edif x prob área suscetível a deslizamento s profundos	Prob edif x prob área suscetível a deslizamento s 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 - Probabilidad de que los edificios con "estructura de muros de mampostería sin placa" estén expuestos a deslizamientos profundos y superficiales por BGRI. Sólo se presentan las 4 BGRI con edificios de esta tipología

	Área da BGRI (m²)	Número de edificios com estrutura de parede de alvenaria sem placa	Área suscetível a deslizamento s profundos (m²)	Prob. área da BGRI suscetível a deslizamento s profundos	Área suscetível a deslizamento s superficiais (m²)	Prob. área da BGRI suscetível a deslizamento s superficiais	Número Total edificios na BGRI	Prob edificio	Prob edif x prob área suscetível a deslizamento s profundos	Prob edif x prob área suscetível a deslizamento s 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

La tabla 8 informa de la probabilidad conjunta para edificios con "Estructura de muros de adobe o mampostería de piedra suelta". El número de edificios varía entre 1 y 21 y el porcentaje de superficie de las subsecciones del BGRI clasificadas con mayor susceptibilidad a los deslizamientos profundos varía entre el 3% y el 58,2%, y entre el

0% y el 59,8% para los deslizamientos superficiales. La probabilidad conjunta de exposición varía entre 0,03 y 0,23 para los deslizamientos profundos y entre 0 y 0,24 para los deslizamientos superficiales.

Tabla 8 - Probabilidad conjunta de edificios con "Estructura de muros de adobe o mampostería de piedra suelta" de estar expuestos a deslizamientos profundos y superficiales por BGRI. Sólo se presentan las 7 BGRI con edificios de esta tipología

	Área da BGRI (m ²)	Número de edificios 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

El cuadro 9 presenta la probabilidad conjunta de los edificios con "otro tipo de estructura". El número de edificios es bastante reducido, variando entre 1 y 2, y el porcentaje de superficie de los subtramos del BGRI clasificados como más susceptibles de sufrir deslizamientos profundos varía entre el 6,7 y el 99,8 %, estando entre el 0 y el 96,5 % en el caso de los deslizamientos superficiales. La probabilidad conjunta de exposición varía entre 0 y 0,36 para los movimientos profundos y entre 0 y 0,06 para los movimientos superficiales.

Las pérdidas potenciales en carreteras y edificios asociadas a ambos escenarios de exposición (deslizamientos superficiales y profundos) pueden deducirse cruzando las tablas 10 y 11. Éstas proporcionan un análisis estadístico simplificado del grado de pérdida en edificios y carreteras en función de la profundidad de la superficie

de rotura del deslizamiento. A partir de los registros de campo, tratados en la Tabla 10, es posible identificar que los edificios son particularmente vulnerables a los deslizamientos profundos, pudiendo sufrir niveles severos de daños (1,0 de grado de pérdida) o la destrucción completa de la estructura. En el caso de verse afectados por deslizamientos superficiales, los daños tienden a ser sustancialmente menos graves y el valor máximo del grado de pérdida para este tipo de desprendimientos se sitúa en torno al 0,3.

Tabla 9 - Probabilidad conjunta de que los edificios con "otro tipo de estructura" estén expuestos a deslizamientos profundos y superficiales por BGRI. Sólo se presentan las 10 BGRI con mayor número de edificios de esta tipología

	Área da BGRI (m²)	Número de edificios com outro tipo de estrutura	Área suscetível a deslizamentos profundos (m²)	Prob. área da BGRI suscetível a deslizamentos profundos	Área suscetível a deslizamentos superficiais (m²)	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

Las pérdidas potenciales en el caso de las carreteras pueden deducirse de la lectura de la Tabla 11, y los diferentes tipos de carreteras cuando se ven afectadas por deslizamientos profundos tienden a presentar niveles severos de daños (entre 0,9 y 1,0 grado de pérdida). En el caso de los deslizamientos superficiales, al menos para las carreteras menos resistentes que las nacionales, los daños pueden ser igualmente graves, como demuestran los valores de grado de pérdida máxima registrados. En estas carreteras, el grado máximo de pérdida para este tipo de deslizamientos es de alrededor de 0,5, que sigue siendo potencialmente alto.

Tabla 10 - Análisis estadístico de los valores del grado de pérdida en los edificios (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
Todos os edifício s	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
	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

El reducido número de registros de daños en edificios en la cuenca del RGP, 42 en total, significa que la magnitud media de las pérdidas es mayor para los deslizamientos de 3 a 5 m de profundidad que para los deslizamientos más profundos (> 5 m). Estos valores de grado medio de pérdida más bajos para los deslizamientos más profundos deben interpretarse con mucha precaución, debido a la escasez de registros de daños en edificios asociados a los desprendimientos más profundos. Sin embargo, debido al mayor tamaño de estos deslizamientos, muchos de los edificios afectados se encuentran en sectores con una deformación interna/superficial reducida (deformación en bloque), lo que justifica los menores grados de pérdida. El uso de estos valores medios debe utilizarse con precaución, por lo que, en un enfoque más conservador, es aconsejable utilizar los valores máximos de deformación registrados, para estos casos de pérdida total (1,0 grado de pérdida).

Tabela 11 – Análisis estadístico de los valores del grado de pérdida en las carreteras (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
Todas	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
	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
V1	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
	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
V1a	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	--
	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	--
V2	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
	Mediana	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	0,15	0,30	0,65	--	0,30
V3	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	--	--	--	--	--

La evaluación de la exposición de los edificios a los deslizamientos profundos y a los deslizamientos superficiales considerando la ubicación exacta de cada elemento en la zona de estudio se presenta en las figuras 9 y 10, respectivamente. Debido a la dificultad de establecer, caso por caso, el respectivo tipo de edificio, en lo que se refiere a la tipología constructiva, se decidió presentar la exposición de forma simplificada para edificios, invernaderos y otros elementos clasificados como elementos Vitales, Estratégicos y Sensibles según la propuesta de Julião *et al.* (2009). El cuadro 12 resume el nivel de exposición que tienen estos elementos en la zona de estudio a los deslizamientos profundos y a los deslizamientos superficiales. En detalle, los siguientes elementos están expuestos en áreas de alta a muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos profundos: estaciones transformadoras con un 40%, invernaderos con un 28,6%, áreas de servicio con un 25%, edificios (residenciales) con un 18,9% e iglesias/capillas con un 5,3%, teniendo el resto de elementos un valor nulo. En el caso de la exposición a deslizamientos superficiales destacan: los invernaderos

Figura 10 - Susceptibilidad a los deslizamientos superficiales (en rojo) y los elementos expuestos: edificios, invernaderos y otros elementos clasificados como estratégicos vitales y/o sensibles.

Tabla 9 – Número de edificios, invernaderos y otros elementos clasificados como estratégicos y/o sensibles vitales expuestos a deslizamientos profundos y superficiales

	TOTAL	Susceptibilidade a movimentos de vertente profundos		Susceptibilidade 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. CONCLUSIONES

Tomando como caso de estudio un sector de la cuenca hidrográfica del Río Grande da Pipa, a lo largo de este informe se destacó la importancia de identificar e inventariar con precisión la ubicación y las características de los elementos expuestos, como información de apoyo a la evaluación de la vulnerabilidad y de los daños potenciales, según diferentes escenarios de susceptibilidad.

Los elementos expuestos considerados fueron edificios, red de carreteras y elementos estratégicos vitales y sensibles, según la clasificación de las entidades de Protección Civil. Se han explorado las relaciones entre la intensidad/magnitud de los movimientos de ladera y el grado de pérdida para considerar tanto la resistencia estructural del elemento afectado (diferentes tipos de carreteras y edificios) como los impactos causados por los desprendimientos. En la magnitud, se exploró la profundidad de la superficie de ruptura y su relación con el grado de pérdida registrado mediante el trabajo de campo.

Para el resto de áreas de estudio consideradas en Portugal en el proyecto RISKCOAST, se considera relevante profundizar en el análisis de la población como elemento expuesto. Esto no se llevó a cabo en el presente estudio de caso debido a la falta de disponibilidad de información geográfica con un nivel de desagregación satisfactorio para la escala de análisis adoptada..

6. REFERENCIAS

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. Grenoble1. 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.; Agyroudis, 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.