

**Deliverable E 2.1.1: Informe técnico sobre los
inventarios de movimientos de ladera – Setúbal
Test Site (Portugal)**

**Informe del GT2 - Actividad 2.1: Cartografía de
susceptibilidad/peligrosidad**

Due date of deliverable: 30/09/2020

Actual submission date: 18/02/2021

Lead contractor for this deliverable: IGOT-ULISBOA

Autores

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



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO	4
3. INVENTARIO DE LOS MOVIMIENTOS DE MASAS EN LAS LADERAS DEL MUNICIPIO DE SETÚBAL	6
3.1 DESPRENDIMIENTOS (ROCKFALL)	8
3.2 DESLIZAMIENTOS (SLIDES)	10
3.2.1 DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES	11
3.2.2 DESLIZAMIENTOS TRANSLACIONALES	12
3.3 FLUJOS (FLOWS)	14
4 CONCLUSIONES	15
REFERENCIAS	16

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 cartografía de peligrosidad, 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 2.1 - Cartografía de susceptibilidad/peligros, del GT 2 del proyecto RISKCOAST, tiene como objetivo producir cartografía de susceptibilidad para los peligros relevantes en cada región costera del SUDOE identificada a partir de los estudios e inventarios obtenidos en el GT 1, utilizando métodos estadísticos y/o deterministas.

El objetivo principal de este informe técnico (E.2.1.1) es presentar el inventario de ocurrencias de movimientos de ladera en el área de estudio del SUDOE del municipio de Setúbal (Fig.1).

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

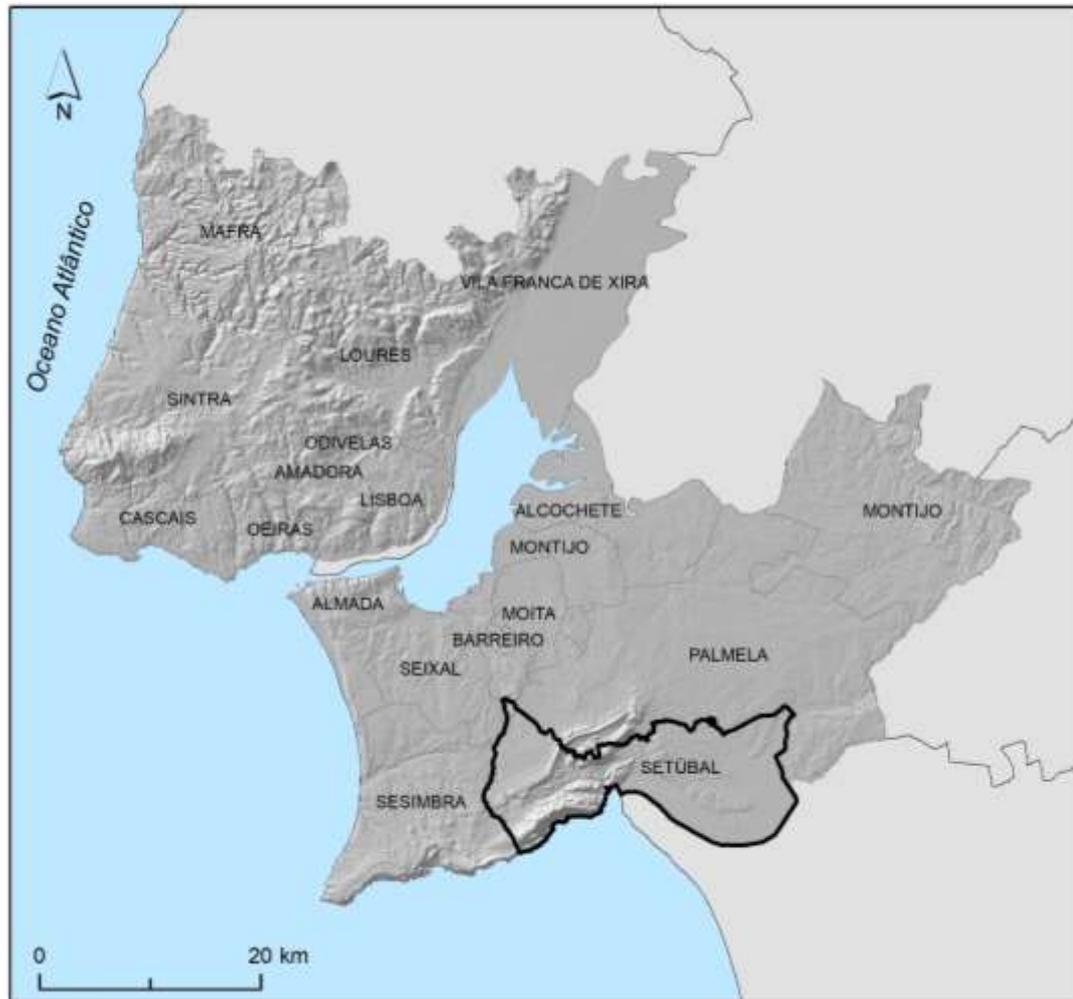


Figura 1 - Entorno geográfico del municipio de Setúbal, en el Área Metropolitana de Lisboa

2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

El municipio de Setúbal está integrado en el Área Metropolitana de Lisboa. Tiene una superficie de 230,3 km² y una población residente de 121.185 habitantes (Censo 2011), lo que se traduce en una densidad de población de 526,1 habitantes/km². Cerca del 71,5% de la población residente en el municipio se concentra en la ciudad de Setúbal (Silva et al., 2017).

El municipio presenta una relevante diversidad territorial y paisajística, destacando la Serra da Arrábida, en su parte occidental,

donde el relieve es más vigoroso y donde se concentran los movimientos de masas en las laderas.

La Arrábida es una pequeña cadena orogénica alpina, caracterizada por una estructura arrugada y compleja, que se desarrolla a lo largo de aproximadamente 35 km con orientación WSW-ENE, desde el Cabo de Espichel hasta Setúbal (Figura 2). Destaca un conjunto de pliegues dirigidos al ENE-WSW, cortados por desconexiones dirigidas al NNW-SSE a NNE-SSW, formadas por el apilamiento de crestas vergentes hacia el sur (Fonseca et al., 2015). Las estructuras arrugadas tienen su origen en un desprendimiento basal en el nivel de contacto entre las unidades sedimentarias de la cuenca mesocenoica, materializadas por el complejo evaporítico del Hetangiano (margas de Dagorda), y el socavón paleozoico (Kullberg et al., 2000).

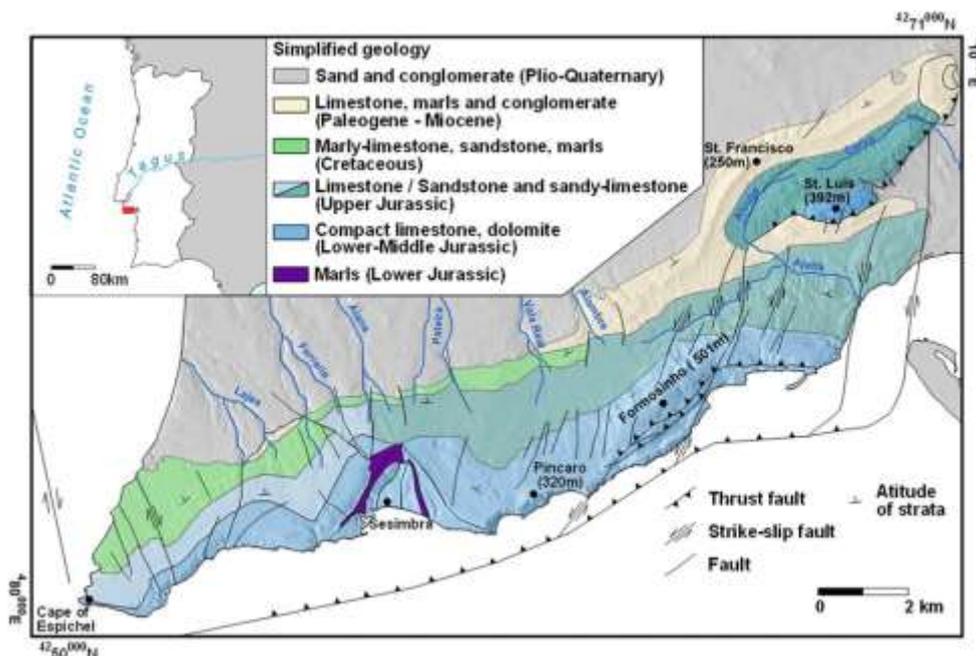


Figura 2 – Geología simplificada de la cadena de Arrábida (Fonseca et al., 2020)

La cadena de Arrábida es el resultado de la interacción de procesos tectónicos y erosivos durante un largo período, desde el Mioceno medio hasta la actualidad. El desmantelamiento de la

cadena se procesó en función de la componente del movimiento tectónico, de la posición de la línea de costa y de los procesos erosivos asociados a ella, desempeñando la red hidrográfica un papel clave en el restablecimiento del equilibrio dinámico entre los procesos endógenos y exógenos. Esta relación se expresa en la escala altitudinal de las formas erosivas aplanadas y suspendidas sobre la red de drenaje actual, mostrando una evolución policíclica del relieve controlada por el levantamiento de la Serra da Arrábida, la subsidencia del Sinclinal de Albufeira y las oscilaciones del nivel del mar durante el período pliocuaternario. Este proceso está superpuesto por la interacción vertical de las fallas NNE-SSW a NE-SW, mostrando un aumento progresivo de la deformación de oeste a este (Fonseca et al., 2014, 2015, 2020).

3. INVENTARIO DE LOS MOVIMIENTOS DE MASAS EN LAS LADERAS DEL MUNICIPIO DE SETÚBAL

El inventario de los movimientos de masas en las laderas del municipio de Setúbal se basó en la interpretación de fotografías aéreas y ortofotomapas digitales obtenidos en diferentes fechas. Los movimientos de masas identificados en las laderas se validaron después con un trabajo de campo sistemático.

En total, se identificaron e inventariaron 124 movimientos de masa en laderas en el territorio del municipio de Setúbal, de los tipos de deslizamiento, corrimiento y escorrentía. El tabla 1 sistematiza las principales características de estos movimientos de masas en las laderas y la figura 3 muestra su distribución espacial.

Tabla 1 - Parámetros morfométricos de los tipos de movimientos en masa en laderas inventariadas en el municipio de Setúbal.

	Desabamentos	Deslizamentos	Escoadas	Conjunto dos movimentos de massa
Número	5	115	4	124
Área Mínima (m ²)	551	71	1.271	71
Área Máxima (m ²)	22.992	30.745	11.066	30.745
Área Média (m ²)	7.186	3.318	3.896	3.493
Desvio-Padrão (m ²)	8.230	4.781	4.144	5.007
Área total (m ²)	35.928	381.609	15.582	433.120
Densidade desliz. (n/km ²)	0,03	0,67	0,02	0,72
% área deslizada	0,02	0,22	0,01	0,25

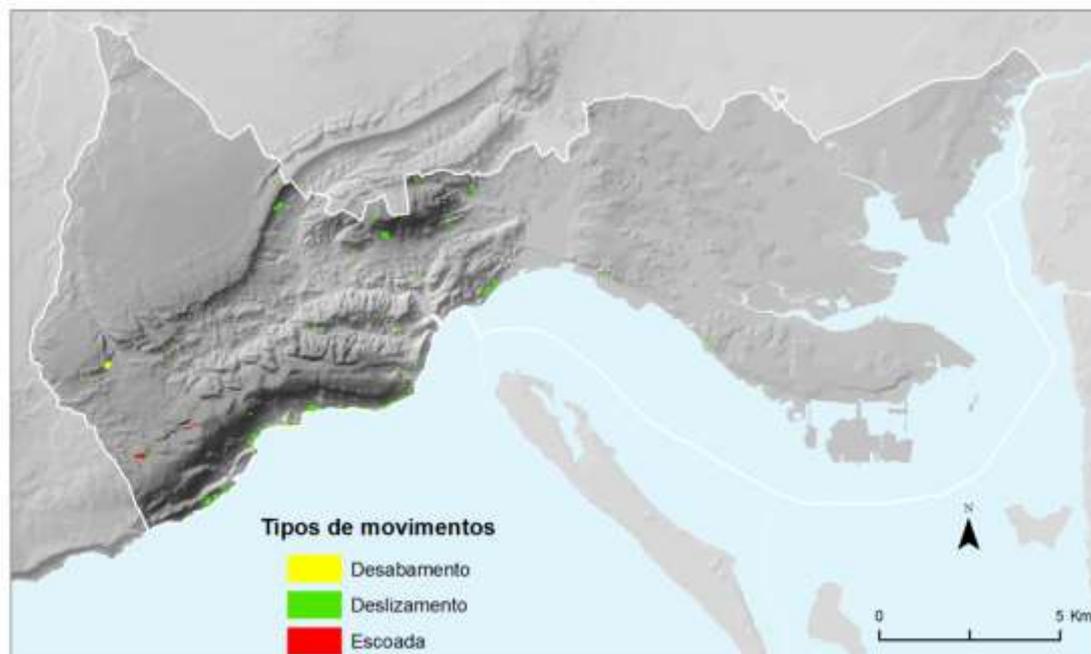


Figura 3 - Inventario de los movimientos de masas en las laderas del municipio de Setúbal.

Los 124 movimientos de masas en las laderas corresponden a una superficie total inestable de 433.120 m². La densidad de movimientos es de 0,72 ocurrencias/km² y el área inestable representa el 0,25% del área municipal.

3.1 Desprendimientos (rockfall)

Los desprendimientos representan aproximadamente el 4% del número de movimientos de masa en las laderas de la zona de estudio. Sin embargo, son el tipo de movimiento con mayor superficie media (7.186 m²), por lo que la superficie afectada por ellos representa alrededor del 8% de la superficie total inestable.

Los desprendimientos son movimientos extremadamente rápidos, desde la ruptura inicial, típicamente en tracción, hasta el momento de inmovilización de la masa desplazada (Flageollet y Weber, 1996). Pueden progresar en caída libre si la pendiente por debajo de la masa de suelo o roca que se desprende supera los 70°. Entre 70° y 45° tiende a producirse un rebote y en pendientes inferiores a 45° las partículas de suelo o roca adquieren trayectorias dominadas por el rodamiento (Cruden y Varnes, 1996). En el caso de la caída de rocas, la forma de las discontinuidades de la roca (por ejemplo, fracturas, planos de estratificación) determina la geometría de la superficie de ruptura. Esta puede ser plana, en cuña, escalonada o vertical (Flageollet y Weber, 1996).

En el municipio de Setúbal, los principales desprendimientos se producen siempre en pendientes pronunciadas, principalmente en los acantilados escarpados tallados en las dolomías de Convento y São Luís (Formación Achada, Toarciano inferior - Batoniano medio), y en las calizas marlíticas miocenas (aquitanas) de Palhavã que afloran en la vertiente sur de la Serra do Formosinho (Figura 4) y en la vertiente sur de la Serra de S. Luís.

Cerca del límite occidental del municipio, al SO de Aldeia da Piedade, se producen desprendimientos con origen en los conglomerados, areniscas y margas de Picheleiros (Paleógeno), en la apertura de la muesca de la garganta de Ribeira da Conceição (Figura 5).

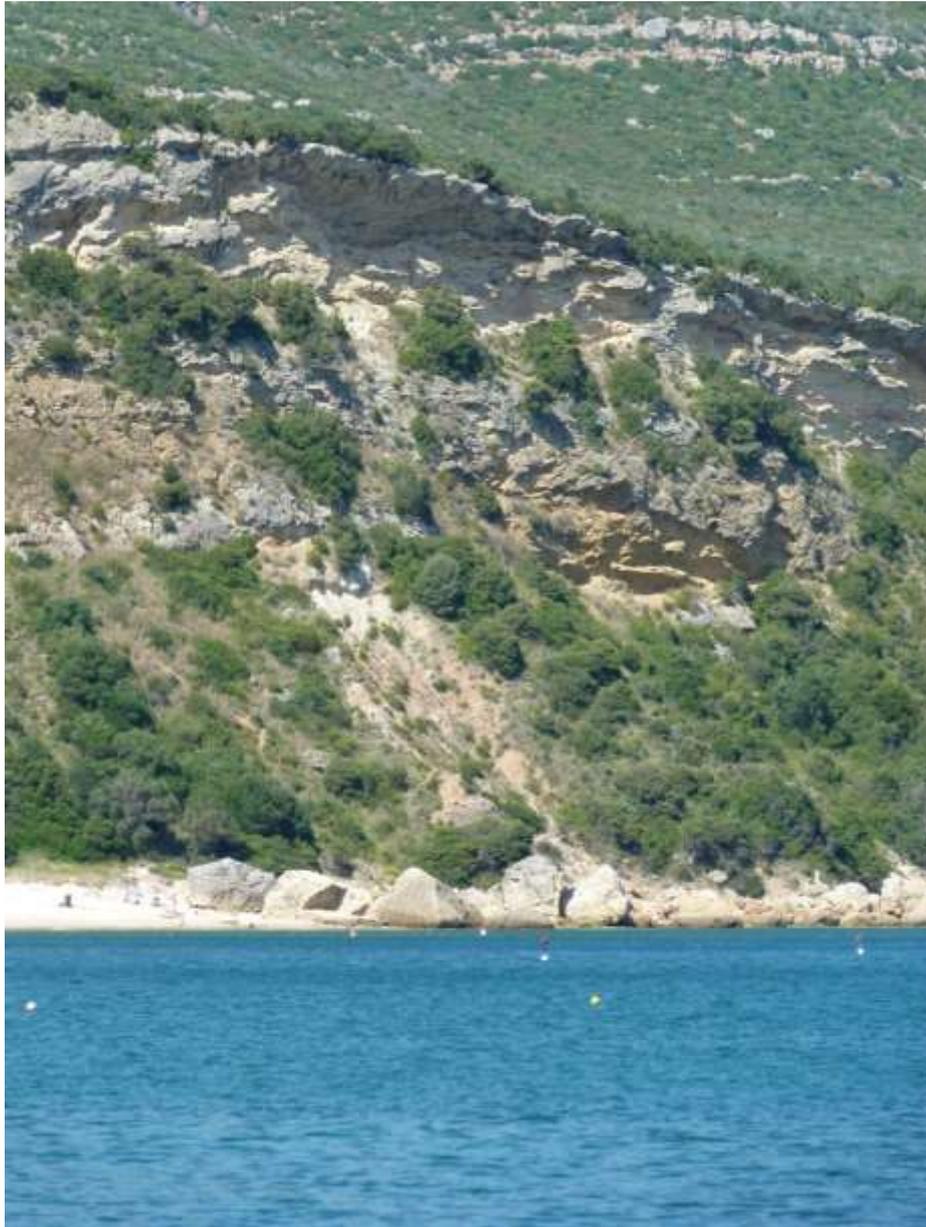


Figura 4 - Bloques derrumbados en el extremo norte de la playa de Portinho da Arrábida.



Figura 5 - Bloques colapsados cerca de la carretera R-379-1, al SO de Aldeia da Piedade.

3.2 Deslizamientos (Slides)

Los deslizamientos constituyen alrededor del 93% de todos los movimientos de masa en las laderas y son responsables de alrededor del 88% de la superficie inestable del municipio.

En la zona de estudio pueden producirse movimientos de tipo deslizamiento asociados a desabamientos, sobre todo en pendientes pronunciadas, no siendo fácil identificar el tipo de mecanismo implicado cuando los movimientos son antiguos y la topografía no estabilizada está mal conservada (Figura 6). En los movimientos más recientes, es posible individualizar los deslizamientos rotacionales y los traslacionales.



Figura 6 - Movimientos en masa en laderas antiguas y mal mantenidas del tipo desprendimiento/deslizamiento en la Serra de S. Francisco.

3.2.1 Deslizamientos rotacionales

El deslizamiento rotacional se produce a lo largo de superficies de ruptura curvas y cóncavas (Cruden y Varnes, 1996). Su cinemática determina que, para los movimientos cuyo perfil de la superficie de ruptura se aproxima a un círculo o a una cicloide, se produzca con poca deformación interna de la masa desplazada (Buma y van Ash, 1996; Cruden y Varnes, 1996). En cualquier caso, la cabeza del movimiento puede registrar descensos verticales bruscos y la parte superior de la masa desplazada tiende a inclinarse hacia arriba formando taludes. Estos favorecen la retención de agua, permitiendo la prolongación en el tiempo de las manifestaciones de inestabilidad y, cuando son abundantes, propiciando la ocurrencia de escorrentías

en la zona de acumulación de los deslizamientos (Erskine, 1973; Varnes, 1978).

En algunos deslizamientos rotacionales se produce el desarrollo de múltiples fenómenos de retroceso, con la expansión del plano de ruptura y de la zona inestabilizada aguas arriba, hacia la parte superior del talud (Figura 7).



Figura 7 - Deslizamiento rotacional en la zona de Picheleiros, en suelos predominantemente margosos de edad paleógena.

3.2.2 Deslizamientos traslacionales

Los deslizamientos traslacionales típicos están asociados a una superficie de ruptura plana o muy ligeramente ondulada. Se caracteriza por un ángulo de cizallamiento bajo, generalmente paralelo a la superficie topográfica original. Su desplazamiento

generalmente se extiende más allá de la superficie de ruptura, cubriendo la superficie topográfica original aguas abajo (Cruden y Varnes, 1996). Los deslizamientos traslacionales con frecuencia se producen a lo largo de discontinuidades (fallas, fracturas, planos de estratificación) o en el contacto entre la masa rocosa y los niveles de suelo residual o transportado, marcados por una baja resistencia al corte.

En el municipio de Setúbal los deslizamientos traslacionales son casi siempre poco profundos, presentando planos de ruptura con profundidad típicamente inferior a 2 metros (Figura 8). Estos deslizamientos afectan casi exclusivamente a los depósitos pelíticos que cubren la mayor parte de las laderas, a lo largo de superficies de ruptura planas, a menudo situadas en contacto con un sustrato rocoso impermeable margoso y/o arcilloso.



Figura 8 - Deslizamiento superficial traslacional cerca de Vale da Rasca, en la formación de arcilla, arenisca, conglomerado y caliza de Vale da Rasca (Kimeridgiano e Titoniano).

3.3 Flujos (flows)

Los flujos representan sólo el 3% de todos los movimientos de masas en las laderas del municipio. Estos movimientos afectan a una superficie total de 15.582 m², lo que corresponde a un 4% del total de la superficie inestabilizada en el municipio de Setúbal.

La distribución de las velocidades en la masa desplazada en lo flujo se asemeja a la de un fluido viscoso y las tensiones se distribuyen a lo largo de la masa afectada, dando lugar, generalmente, a una gran deformación interna de los materiales y a la existencia de velocidades diferenciadas, casi siempre mayores cerca de la superficie (Carson y Kirkby, 1975).

Los flujos de escombros (*debris flows*) pueden producirse en laderas abiertas o pueden aparecer canalizados. En el primer caso, los flujos definen su propia trayectoria desde el punto de ruptura hasta la zona de deposición, basándose en las irregularidades existentes en la ladera. En el segundo caso, aprovechan los canales existentes, así como las zanjas y los taludes con una sección transversal cóncava pronunciada (Cruden y Varnes, 1996)..

Los flujos son movimientos de masas poco comunes en el municipio de Setúbal. Sin embargo, hay registros de ocurrencias en la vertiente norte del anticlinal de Formosinho (Figura 9).



Figura 9 - Flujo de detritos en la vertiente norte del anticlinal de Formosinho.

4 CONCLUSIONES

El municipio de Setúbal presenta un relieve muy contrastado, destacando su sector occidental correspondiente a la Serra da Arrábida, donde se observan las pendientes más pronunciadas y donde se producen la inmensa mayoría de los movimientos en masa catalogados en las laderas. En efecto, en la zona de la Serra da Arrábida se producen desprendimientos, corrimientos y flujos, especialmente en las laderas norte de la Serra do Formosinho y de la Serra de S. Luís, así como en la ladera norte expuesta de la Serra de S. Francisco. La zona del litoral rocoso, que comienza cerca del Forte de S. Filipe y se extiende hasta el límite con el municipio de Sesimbra, incluye casi todas las zonas de inestabilidad de ladera registradas.

REFERENCIAS

- Buma, J., & Van Asch, T. (1996). Slide (rotational). *Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L., Ibsen, M.L. (eds.), Landslide Recognition, Identification, Movement and Causes: Gran Bretaña, John Wiley and Sons, 42-61.*
- Carson, M. A.; Kirkby, M.J. (1975). *Hillslope Form and Processes. 2.ed., Cambridge University Press, Malta.*
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes. *Transportation research board special report, (247).* Flageollet, J.-C.; Weber, D. (1996) - Fall. In *Dikau, R.; Brunsden, D.; Schrott, L.; Ibsen, M.-L. (eds.), Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes. John Wiley & Sons, Chichester: 13-28.*
- Erskine, C. F. (1973). *Landslides in the Vicinity of the Fort Randall Reservoir, South Dakota. Geological Survey Professional Paper, 675, Washington.*
- Fonseca, A. F., Zêzere, J. L., & Neves, M. (2014). Geomorphology of the Arrábida Chain (Portugal). *Journal of Maps, 10(1), 103-108.*
- Fonseca, A. F., Zêzere, J. L., & Neves, M. (2015). Contribuição para o conhecimento da geomorfologia da Cadeia da Arrábida (Portugal): cartografia geomorfológica e geomorfometria. *Revista Brasileira de Geomorfologia, 16(1).*
- Fonseca, A. F., Zêzere, J. L., & Neves, M. (2020). The Arrábida Chain: The Alpine Orogeny in the Vicinity of the Atlantic Ocean. In *Landscapes and Landforms of Portugal (pp. 273-278).* Springer, Cham.
- Kullberg, M. C., Kullberg, J. C. R., & Terrinha, P. (2000). Tectónica da cadeia da arrábida. *Memórias de Geociências, (2), 35-84.*
- Silva, V. R., Fonseca, N. B., & Zêzere, J. L. (2017). Integração dos riscos no planeamento municipal—o caso da revisão do plano diretor municipal de Setúbal. *ICRSC2017 – Atas da Conferência Internacional Riscos, Segurança e Cidadania, p.203-215.*
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In *Schuster, R.L.; Krizek, R.J. (eds.), Landslides, Analysis and Control, Transportation Research Board Special Report, 176, Washington D.C.: 11-33.*