

## **Deliverable E 2.1.2: Informe técnico de susceptibilidad/peligrosidad multiperigo– 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,  
Raquel Melo, Eusébio Reis, Pedro Pinto Santos



## **ÍNDICE**

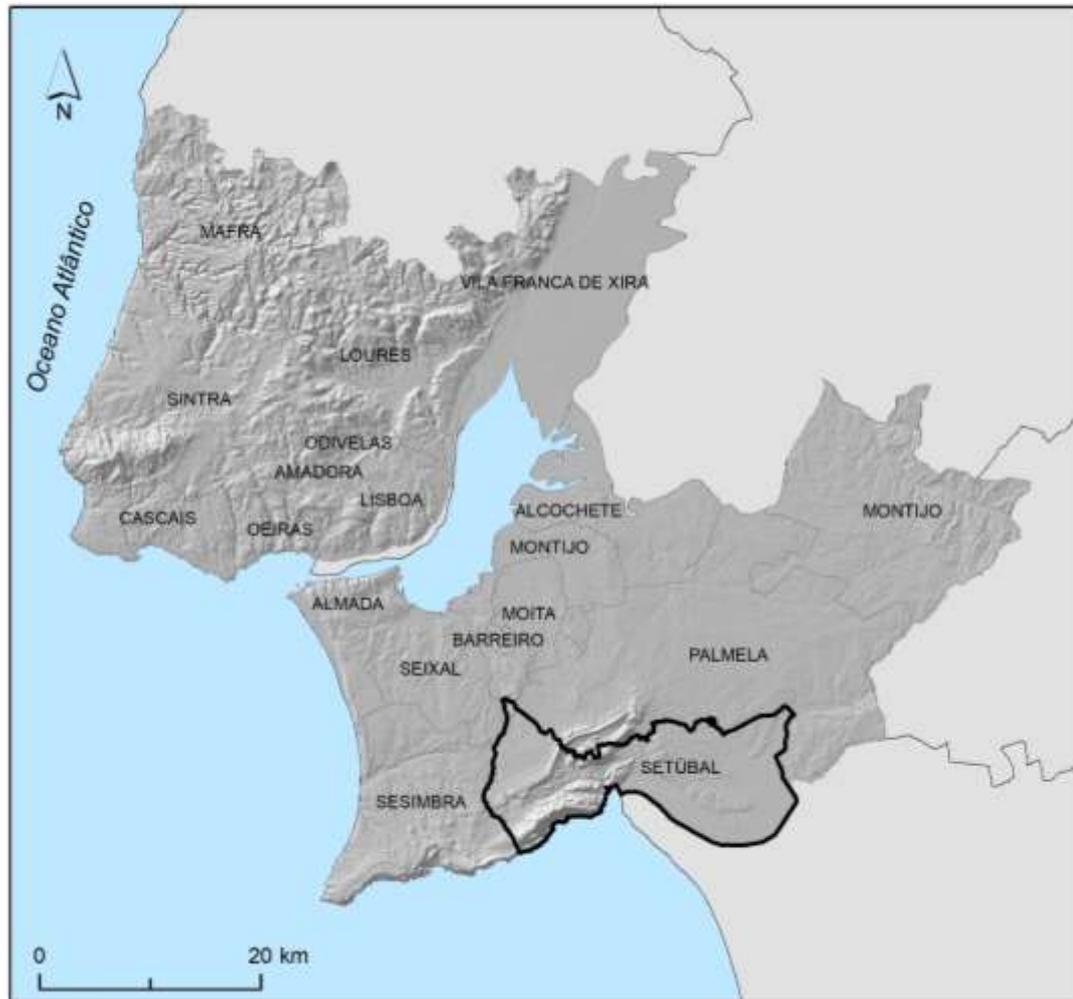
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2. ZONAS AMENAZADAS POR EL MAR.....</b>	<b>5</b>
<b>3. ZONAS EN PELIGRO DE INUNDACIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>4. ZONAS DE INESTABILIDAD DE LADERAS.....</b>	<b>17</b>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>35</b>

## 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, vulnerabilidad y riesgo en las regiones costeras del SUDOE, adaptada a los diferentes escenarios futuros de riesgo derivados del 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, identificados en base a los estudios e inventarios obtenidos en el GT 1, utilizando métodos estadísticos y/o deterministas.

El objetivo principal de este informe técnico (E.2 .1.2) es, en el caso del municipio de Setúbal, situado en el Área Metropolitana de Lisboa (Fig. 1), presentar el conjunto de procedimientos metodológicos para la evaluación de la susceptibilidad a la erosión costera y a los desbordamientos oceánicos, a las inundaciones y a los movimientos de masas en las laderas, según el régimen jurídico de la Reserva Ecológica Nacional (REN), establecido por el Decreto-Ley n. N° 166/2008, de 22 de agosto (DL166/2008), modificado por los Decretos Ley N° 239/2012, de 2 de noviembre, 96/2013, de 19 de julio, 80/2015, de 14 de mayo y 124/2019, de 28 de agosto. Además, la Orden Ministerial 336/2019, de 26 de septiembre, aprueba la revisión de las Directrices Estratégicas Nacionales y Regionales previstas en el Marco Legal de la Reserva Ecológica Nacional (REN), incluyendo las Zonas Amenazadas por el Mar (ZAM), las Zonas Amenazadas por las Inundaciones (ZAC) y las Zonas de Inestabilidad de Laderas (AIV).



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

## 2. ZONAS AMENAZADAS POR EL MAR

Según el párrafo 1 del apartado b) de la Sección III del Anexo I del Decreto-Ley 239/2012, las zonas amenazadas por el mar (ZAM) no clasificadas como zonas colindantes en los términos de la Ley de Propiedad de los Recursos Hídricos son "(...) zonas contiguas al borde de las aguas del mar que, por sus características fisiográficas y morfológicas, presentan una alta susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones por desbordamiento. Su delimitación incluye las zonas susceptibles de inundación por desbordamiento y todas aquellas con registros y/o evidencias de que se produjeron en el pasado.

La delimitación detallada de las zonas de inundación de la franja costera debido a los temporales de mar depende del conocimiento de los factores forzantes (nivel de las mareas, altura de las olas y subida meteorológica del nivel del mar), pero también de la morfología tanto de la plataforma continental cercana a la costa como de la franja costera, ya que éstas condicionan la concentración o dispersión de la energía de las olas.

Como no es posible obtener datos morfológicos suficientemente detallados para estimar la cota de inundación de cada lugar, se utilizó una evaluación semiempírica, de alcance regional. Así, la determinación de la susceptibilidad al desbordamiento e inundación de la costa del municipio de Setúbal corresponde fundamentalmente al efecto combinado de cuatro componentes: (1) el nivel medio del mar; (2) la altura máxima de la marea astronómica; (3) la subida meteorológica del nivel del mar (*storm surge*); y (4) la zona de lavado (zona de *swash*).

### 1. Nivel medio del mar

El estudio de los registros del mareógrafo de Cascais desde 1882 hasta 1985, realizado por Dias y Taborda (1992), complementado posteriormente por Antunes y Taborda (2009), determinó una tasa media de subida del nivel medio del mar de  $1,3 \pm 0,1$  mm/año. Esta tendencia, sin embargo, no es constante en el periodo estudiado. Siendo inicialmente negativo hasta 1920 (-0,5 mm), posteriormente

presenta valores cada vez mayores (+1,7 mm) entre 1920-1990; +2,1 mm en el periodo 1990-2000; +2,5 mm a partir del año 2000. Teniendo en cuenta que el Dato Altimétrico que funciona como "Referencia Cero" altimétrico para todos los datos y cartografía de Portugal fue establecido con precisión en el mareógrafo de Cascais en 1938, debe considerarse, entre este año y 2011, una variación del nivel medio del mar de 0,14 m.

## 2. Mareas

La costa de Portugal continental está sometida a mareas semidiurnas, con amplitudes medias de 2,2 m, pero que pueden superar los 3,5 m durante las mareas vivas. A partir de los valores entre 1990 y 2000, resultantes del análisis armónico en la estación mareográfica de Cascais, Taborda et al. (2010) obtuvieron una pleamar máxima, debida únicamente al forzamiento astronómico, de 4,03 m por encima del cero hidrográfico (que es 2,08 m por debajo del nivel medio del mar, o cero geográfico).

## 3. Subida meteorológica del nivel del mar (*storm surge*)

Ciertas condiciones meteorológicas, como los descensos pronunciados de la presión atmosférica o los vientos fuertes y persistentes en tierra, pueden provocar una subida ocasional y periódica del nivel del mar, conocida internacionalmente como storm surge. En cuanto a la costa portuguesa, no hay muchos estudios sobre las mareas de tempestad. Entre los existentes, algunos consideran los datos del mareógrafo de Cascais. Taborda y Dias (1992) obtuvieron un storm surge máximo de 0,4 m y 0,5 m, respectivamente, asociada a las tormentas de febrero/marzo de 1978 y diciembre de 1981. Por su parte, Andrade et al. (2006) determinaron, para el período 1987-2000, un storm surge máximo para Cascais de 0,46 m, ocurrida el 02/02/1998. Por último, Taborda et al. (2010) analizaron los datos del mareógrafo de la estación de Cascais entre 2000 y 2009, obteniendo una marejada máxima de 0,57 m (el 25/10/2006). La aplicación del método de Gumbel a las series de valores máximos anuales de las mareas de tempestad de Andrade et al. (op.cit.) señala valores de 0,54 m y 0,58 m para períodos de retorno de 50 y 100 años respectivamente. Así, 0,57 m

se considera el valor más alto registrado en la estación mareográfica de Cascais.

#### 4. Zona de *swash*

La zona de *swash* se calculó utilizando la ecuación propuesta por Masselink & Hughes (2003):

$$R = 0,36 g^{1/2} \tan(\beta) H_0^{1/2} T$$

Onde:

R – zona de *swash* (m)

$g$  – aceleración de la gravedad (9,81 ms<sup>-2</sup>)

$\tan(\beta)$  – tangente de la pendiente de la faceta de la playa

$H_0$  – altura de las olas en alta mar (m)

$T$  – período da onda (seg)

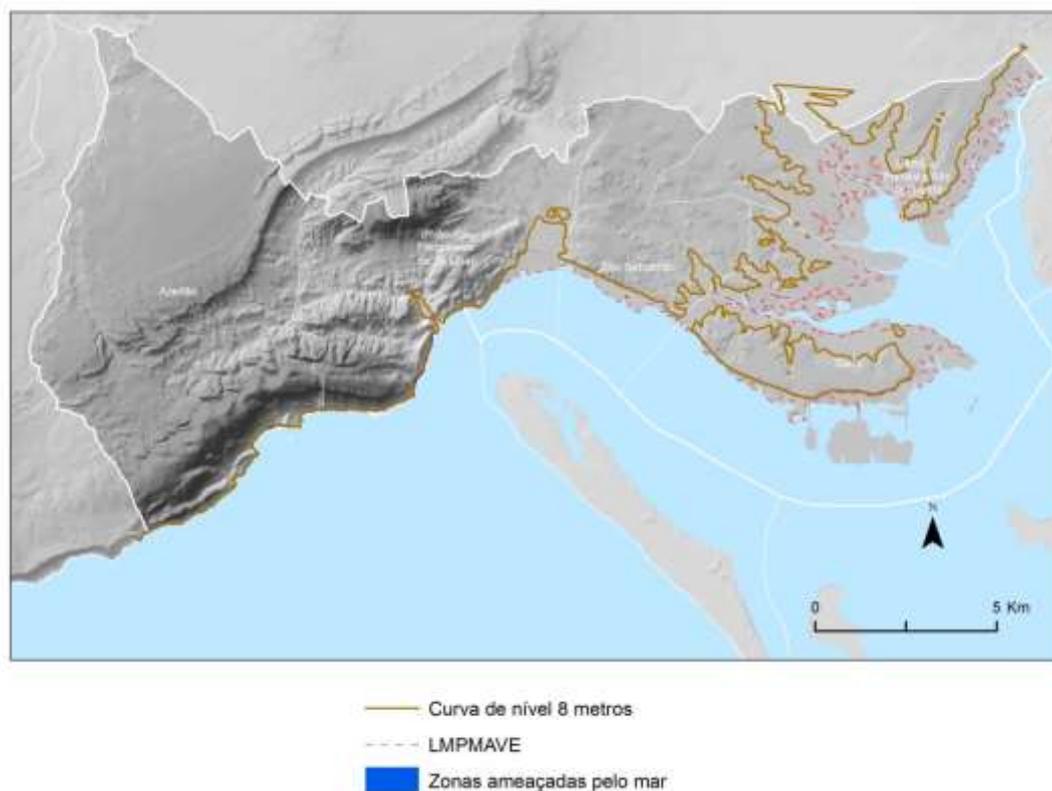
Consideramos una situación de temporal fuertemente energético, con una altura de ola offshore ( $H_0$ ) de 10 m -situación que, según Trindade (2010) tiene un periodo de retorno de unos 50 años- y un valor de pendiente particular de las playas reflectantes ( $\tan(\beta) = 0,1$ ), característico de la mayoría de las playas del municipio de Setúbal. Se obtuvo un valor de dispersión de 5,6 m.

Finalmente, teniendo en cuenta la variación del nivel medio del mar, la pleamar astronómica máxima, la marea de tormenta máxima y la propagación del oleaje, se obtuvo una cota de inundación de 8 m sobre el nivel medio del mar, que se aproxima a los valores calculados para el litoral del municipio de Sintra por Marques et al. (2009) y para el litoral del municipio de Cascais por Taborda et al. (2010). Así, la delimitación de la ZAM toma como límite superior la curva de nivel de 8 m, y como límite inferior la línea de máximo nivel de aguas altas (LMPMAVE) que define la línea de costa. En una situación de crecida de 8 m, las playas de Setúbal quedarán cubiertas por el agua del mar y la base de los acantilados también se verá afectada, lo que puede desencadenar un fuerte retroceso,

provocando la inestabilidad de la cima del acantilado. Sin embargo, dada la protección que ofrece el acantilado, aquí no se producirán situaciones de vertidos costeros.

Las situaciones más problemáticas pueden darse en el puerto de Secil y en la desembocadura de la Ribeira da Comenda (si coincide con fuertes lluvias y el consiguiente alto caudal de este río, las inundaciones podrían alcanzar una amplia zona). El límite superior de las zonas de inundación en estos lugares refleja los registros de ocurrencias pasadas, y lo observado in situ durante los eventos de tormenta, así como la geomorfología local.

La aplicación de la metodología descrita da como resultado la Figura 2, correspondiente a las zonas amenazadas por el mar (ZAM) en el municipio de Setúbal. En total, las ZAM cubren 0,24 km<sup>2</sup>, lo que corresponde al 0,11% del territorio del municipio.



*Figura 2 - Zonas amenazadas por el mar que no están clasificadas como zonas adyacentes según la Ley de Propiedad de los Recursos Hídricos, en el municipio de Setúbal*

### 3. ZONAS EN PELIGRO DE INUNDACIÓN

De acuerdo con el Decreto-Ley nº 115/2010, de 22 de octubre, se consideran zonas inundables en las zonas de riesgo y amenaza de inundación (ZAC)<sup>1</sup> – en los términos de la Ley de Propiedad de los Recursos Hídricos - no clasificados como zonas adyacentes, zonas susceptibles de inundación por desbordamiento del agua del lecho ordinario de los cursos de agua debido a la ocurrencia de caudales altos. Las ZAC comprenden, por tanto, la zona contigua a la ribera de un curso de agua que se extiende hasta la línea alcanzada por la crecida con periodo de retorno de 100 años o por la mayor crecida conocida, si no hay datos que permitan identificar la crecida centenaria.

Recientemente, el Decreto-Ley 124/2019, de 28 de agosto, estableció que las "zonas amenazadas de inundación" o "zonas inundables" son áreas susceptibles de ser inundadas por el desbordamiento de las aguas del lecho de los arroyos y del lecho de las rías debido a la ocurrencia de caudales elevados y a la acción combinada de diversos fenómenos hidrodinámicos característicos de estos sistemas.

De acuerdo con las directrices estratégicas nacionales y regionales de la Reserva Ecológica Nacional, la delimitación de las ZAC se diferencia según el tipo de uso y ocupación del territorio:

- en las zonas urbanas, donde las inundaciones pueden tener un impacto negativo importante, la delimitación debe realizarse mediante estudios hidrológicos e hidráulicos para calcular las zonas inundables con un periodo de retorno de al menos 100 años;

- En las zonas no urbanas (agrícolas y/o forestales dominantes) la delimitación de las zonas de inundación sólo puede resultar de la representación de la altura de la mayor inundación conocida, determinada a partir de la observación de las marcas de inundación, de los registros de eventos históricos y de los datos cartográficos, y/o

---

<sup>1</sup> En beneficio de la simplicidad, en este informe nos referimos a las Zonas Amenazadas por las Inundaciones (ZAC) incluyendo también las zonas de riesgo de inundación definidas en el DL 115/2010.

de la aplicación de criterios geomorfológicos, pedológicos y topográficos (apartado c), Sección III, Anexo 1, del Decreto-Ley 166/2008).

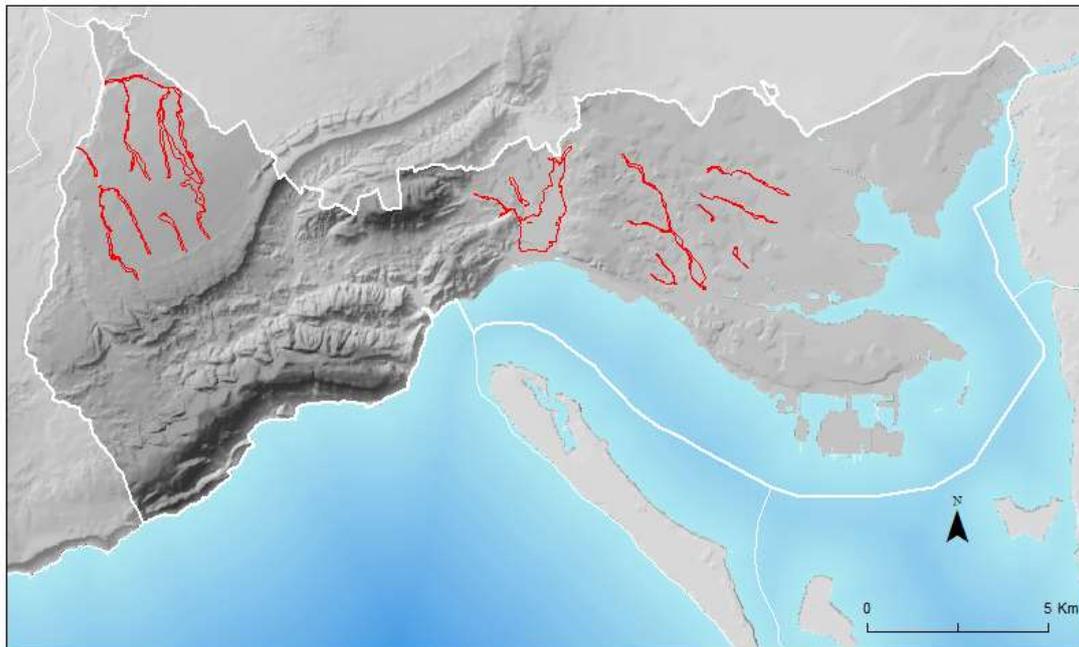
Además, según Portaria n. 336/2019, de 26 de septiembre, en las zonas de estuario, la delimitación de las zonas amenazadas de inundación debe tener en cuenta las características hidrodinámicas, geomorfológicas, edafológicas y topográficas vigentes, y los estudios que se desarrollen deben incluir factores como el nivel máximo de marea, la subida del Nivel Medio del Mar (NMM), la sobreelevación meteorológica y el oleaje generado localmente, así como considerar la mayor cota de inundación conocida, determinada a partir de las marcas de inundación, registros y datos cartográficos disponibles.

La delimitación de las ZAC en el municipio de Setúbal se basó en la integración de 4 documentos de diferente origen y naturaleza, lo que requirió un esfuerzo adicional para compatibilizar la información:

- el "Mapa de Zonas Inundables del Municipio de Setúbal para el período de retorno de 100 años";
- el "Mapa de inundación de la cuenca de la Ribeira do Livramento en Setúbal para un período de retorno de 100 años" contenido en el Plan de Gestión del Riesgo de Inundación del Distrito Hidrográfico 6 (APA, 2015);
- la delimitación de las zonas de inundación del río Sado para la crecida de período de retorno de 100 años o la máxima crecida conocida, realizada por el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (LNEC) a escala 1:50 000.
- la aplicación de un modelo de evaluación empírica para identificar los tramos de los cursos de agua con una alta susceptibilidad a las inundaciones, y la espacialización de las respectivas zonas de inundación.

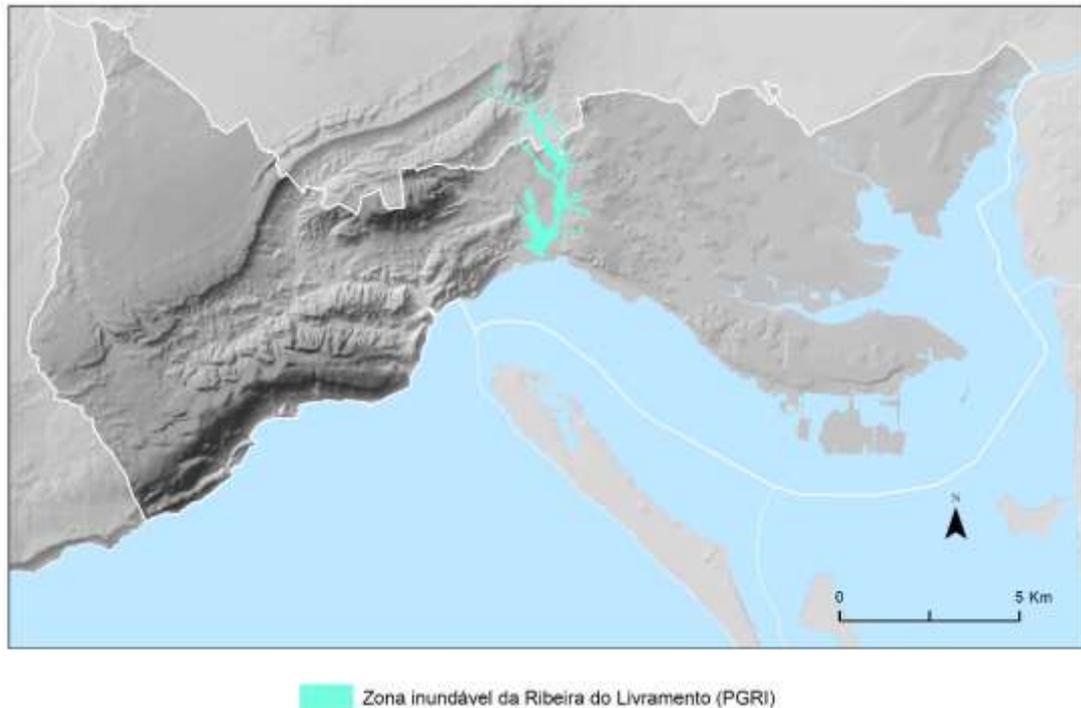
El Mapa de Zonas de Inundación del Distrito de Setúbal para el período de retorno de 100 años (Figura 3) es el elemento principal de la 2ª fase del "Plan de Drenaje Pluvial del Distrito de Setúbal (Informe Final)", realizado por PROCESL, Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda. (2011), a escala 1:10 000, con el apoyo del modelo informático HEC-RAS.

El mapa de inundaciones de la Ribeira do Livramento en Setúbal (Figura 4) ha sido facilitado por la Agência Portuguesa do Ambiente (APA) y es el resultado de la aplicación de la Directiva 2007/60/CE relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, que establece que los Estados miembros deben elaborar mapas de peligrosidad por inundaciones y mapas de riesgo de inundación asociados a diferentes escenarios de inundación, con el fin de disponer de una herramienta de información eficaz, así como de una base valiosa para establecer prioridades y tomar decisiones técnicas, financieras y políticas sobre la gestión del riesgo de inundación.



— Zonas ameaçadas pelas cheias (PROCESL)

*Figura 3 - “Mapa de zonas de inundación del municipio de Setúbal para el periodo de retorno de 100 años” (realizado por PROCESL, Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda., 2011; C. M. Setúbal)*



*Figura 4 - Zona Inundável pela Ribeira do Livramento, com un período de retorno de 100 años (Fonte: PGRI, APA, 2015)*

El mapa elaborado en el marco del "Plan de Drenaje Pluvial del Municipio de Setúbal" se centra especialmente en los cursos de agua que desaguan en zonas más problemáticas desde el punto de vista del comportamiento hidráulico durante la ocurrencia de inundaciones. Por ello, este mapa no identifica todos los tramos y las respectivas zonas inundables que pueden incluirse en la REN. Del mismo modo, el enfoque del Plan de Gestión del Riesgo de Inundación de Setúbal se centra sólo en la Ribeira do Livramento, dejando fuera muchos cursos de agua que causan inundaciones.

Así, se evaluó la susceptibilidad a las inundaciones para todo el municipio de Setúbal, y los resultados se armonizaron con los encontrados en el "Mapa de Zonas Inundables del Municipio de Setúbal para el período de retorno de 100 años" del "Plan de Drenaje Pluvial del Municipio de Setúbal" y en el Mapa de Inundaciones de la Ribeira do Livramento, que forma parte del Plan de Gestión del Riesgo de Inundación.

Las zonas de drenaje del interior o del municipio de Setúbal constituyen cuencas de drenaje relativamente pequeñas, en las que el tiempo de concentración no supera las 6 horas. En este sentido, estas cuencas de drenaje pueden originar inundaciones con velocidad de progresión rápida, en algunas zonas clasificadas como de peligrosidad alta y, en otras, de peligrosidad media-alta.

En estas cuencas, la ausencia de datos hidrométricos o su existencia con series muy cortas de registros no permite un conocimiento fiable del comportamiento hidrológico en cuanto a la frecuencia y magnitud de las crecidas. Este hecho imposibilita el cálculo de los periodos de retorno asociados a cada evento y hace imposible calibrar adecuadamente modelos hidrológicos más complejos. Por ello, el análisis de las inundaciones debe verse, en este caso, desde la perspectiva de la identificación de las zonas susceptibles de sufrir inundaciones provocadas por el desbordamiento del lecho de los ríos y arroyos como consecuencia de caudales elevados, pero con una recurrencia no definida.

El modelo de susceptibilidad utilizado para la identificación de las zonas amenazadas por las inundaciones se basó en la integración de tres tipos de factores, considerados relativamente constantes en el tiempo (Ramos et al., 2008; Julião et al., 2009; Ramos et al., 2010; Reis, 2011):

- área de drenaje acumulada para cada unidad de tierra, es decir, número de celdas que drenan a un punto determinado de la cuenca hidrográfica;
- pendiente media de la zona que drena a cada una de las unidades de tierra;
- el valor medio de la permeabilidad relativa compuesta de la zona que drena a cada una de las unidades de terreno; esta permeabilidad asume, además de la permeabilidad natural de la litología, los efectos de sellado resultantes de las infraestructuras humanas.

Para mantener la coherencia del sistema fluvial, todas las variables se trataron inicialmente a nivel de la cuenca hidrográfica que drena en el municipio o fuera de él, de modo que la zona inicial de análisis se extendía más allá del límite del municipio. Así, cada

uno de los valores, tanto acumulados como medios, presentes en cada unidad de tierra (celda) refleja las condiciones aguas arriba del límite de cada cuenca.

Las tres variables mencionadas permiten la construcción de un modelo simple pero eficaz, en el que los factores geomorfológicos más relevantes están presentes en la identificación de las condiciones favorables a la ocurrencia de inundaciones. El área de drenaje proporciona una indicación del volumen potencial de agua recibido en cada unidad de terreno (celda); la permeabilidad compuesta da una noción de la importancia del agua retenida temporalmente en el suelo y el subsuelo de la cuenca, que no contribuye, por tanto, a la escorrentía directa; y la pendiente media traduce el dinamismo (velocidad) de la escorrentía. El conjunto de los tres factores permite evaluar las condiciones de respuesta de las subcuencas a los eventos pluviométricos y el flujo potencial acumulado a lo largo de las cuencas.

Como puede verse, el modelo no utiliza variables relacionadas con las precipitaciones y el uso del suelo. En este sentido, la precipitación se considera un parámetro constante a lo largo de las cuencas, por lo que este factor está parcialmente representado por el área de drenaje acumulada en cada unidad de terreno. Dado que el modelo no está destinado a calcular períodos de retorno, el uso de la distribución espacial de las precipitaciones es prescindible en este caso. Además, los tiempos de concentración de las distintas cuencas y subcuencas, de pocas horas, no encuentran una correspondencia adecuada en las características de los datos pluviométricos actualmente disponibles para la zona de estudio.

Por otro lado, el modelo asume la inexistencia de los efectos de intercepción y retención por parte de la cubierta vegetal, debido a los grandes cambios a los que está sometida esta variable en espacios cortos de tiempo (plantaciones, deforestación, talas, incendios, etc.). La cobertura del suelo se asume aquí como una variable que, aunque interfiere en el comportamiento de los caudales máximos, debe ser tratada como un componente de la planificación y gestión de las cuencas hidrográficas. Sin embargo, como ya se ha mencionado, los diferentes niveles de impermeabilidad del territorio se tienen en cuenta en la cartografía de permeabilidad compuesta.

La metodología utilizada para identificar las zonas más susceptibles de sufrir inundaciones siguió un flujo de trabajo basado en 6 pasos principales, que funcionan, a partir del punto (iii), como un proceso iterativo hasta obtener los resultados más adecuados:

- (i) Cálculo de los valores de las variables condicionantes para todas las cuencas hidrográficas que drenan en el municipio, por unidad de tierra (celda - pixel);
- (ii) Cálculo de los valores acumulados y medios de las variables condicionantes a lo largo de las cuencas hidrográficas;
- (iii) Integración de variables en un modelo empírico, basado en una combinación lineal ponderada de variables;
- (iv) Clasificación del municipio según la susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones en los tramos de cursos de agua;
- (v) Identificación y cartografía de las zonas inundables adyacentes a los tramos considerados más susceptibles;
- (vi) Validación de los resultados del modelo con el apoyo de la observación de marcas o registros de eventos históricos y datos cartográficos, así como de criterios geomorfológicos, sedimentológicos (incluida la distribución espacial del aluvión) y pedológicos (incluida la presencia de suelos aluviales modernos)..

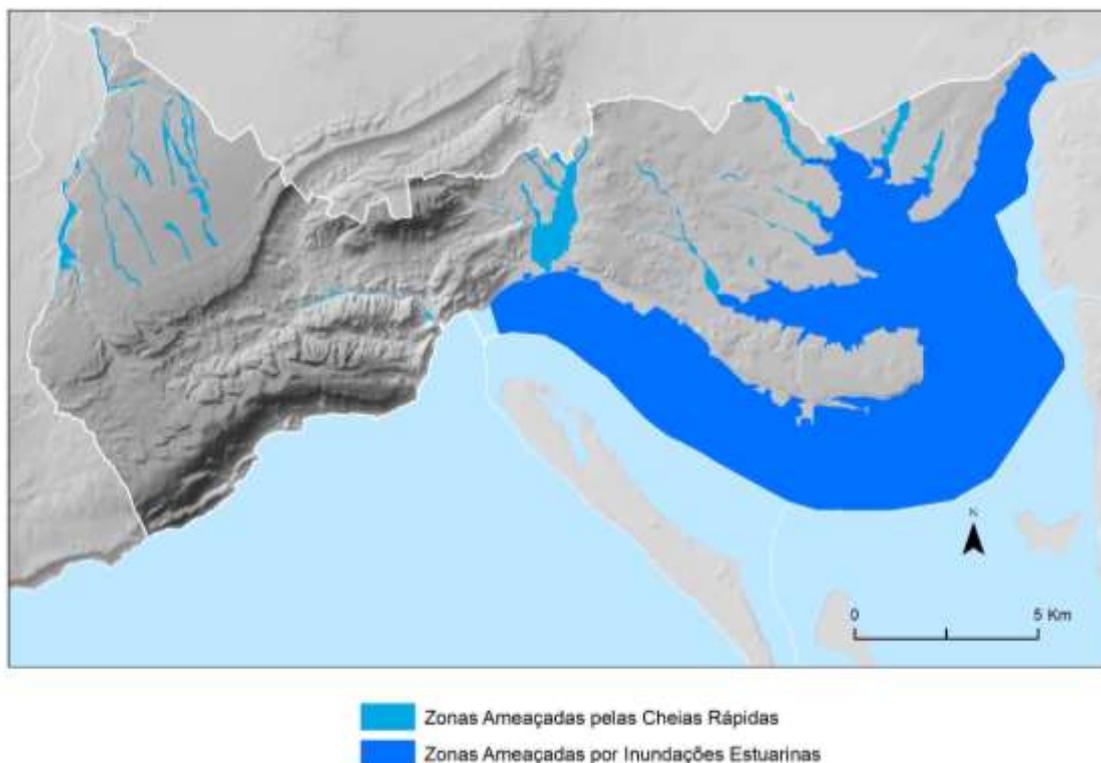
Sin embargo, los conocimientos adquiridos a través de los estudios de campo nos permitieron detectar varios lugares en los que era necesario hacer ajustes a los resultados del modelo anterior. Estas discrepancias se explican por las características topográficas de la zona que rodea a los principales valles, con un terreno llano, cuya variación no se puede detectar a partir de la información altimétrica utilizada en la elaboración del modelo (curvas de nivel con 5 m de equidistancia). Para corregir estos límites, se utilizaron ortofotomapas de alta resolución (0,5 m), apoyados en el conocimiento del terreno.

Posteriormente, estas áreas de inundación se integraron con las cartografiadas en el "Mapa de Áreas Inundables del Municipio de Setúbal para el período de retorno de 100 años" del "Plan de Drenaje

Pluvial del Municipio de Setúbal" y el mapa de inundación de la cuenca de la Ribeira do Livramento incluido en el Plan de Gestión de Riesgos de Inundación.

La delimitación de las zonas amenazadas por las inundaciones en la zona del estuario del Sado se basó en el Atlas "Zonas de inundación", puesto a disposición por la APA, correspondiente a un estudio realizado por el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (LNEC), a escala 1:50 000, con la delimitación de las zonas de inundación del río Sado para las inundaciones con un período de retorno de 100 años o la máxima inundación conocida.

Las zonas amenazadas por las inundaciones, según las metodologías utilizadas, ocupan 71,8 km<sup>2</sup> en lo que respecta a las inundaciones estuariales, a las que hay que añadir 6,6 km<sup>2</sup> correspondientes a las zonas amenazadas por las inundaciones repentinas asociadas a los cursos de agua distintos del río Sado (Figura 5).



*Figura 5 - Zonas amenazadas por las inundaciones (ZAC) en el municipio de Setúbal*

#### 4. ZONAS DE INESTABILIDAD DE LADERAS

La evaluación de la susceptibilidad geomorfológica se basa en el supuesto de que es más probable que se produzcan futuros movimientos de masas en las laderas en condiciones geológicas y geomorfológicas similares a las que generaron inestabilidad en el presente y en el pasado (Varnes, 1984; Zêzere et al., 2008). En este contexto, es fundamental la identificación y cartografía de los factores condicionantes (predisponentes) responsables de la aparición o aceleración de las manifestaciones de inestabilidad, así como su ponderación mediante modelos de relación espacial.

En este trabajo se consideraron 6 temas como factores predisponentes para la ocurrencia de movimientos en masa en laderas: pendiente, exposición, curvatura transversal (*plan curvature*), inversa del índice de humedad (*wetness index*), litología y uso del suelo.

El Mapa Topográfico multicodificado a escala 1:10 000, del municipio de Setúbal, sirvió de base para la construcción de un Modelo Numérico de Elevación (MNE), del que se derivaron los siguientes temas: pendiente, exposición, curvatura del plano e inverso del índice de humedad. Los temas de litología y uso del suelo se convirtieron de estructura vectorial a raster, y posteriormente se (re)clasificaron, de modo que pudieran integrar los modelos de evaluación de la susceptibilidad. Se estableció que todas las salidas de las distintas operaciones realizadas tendrían una resolución de 5 m, es decir, pixel con 25 m<sup>2</sup>.

El mapa de pendientes (Figura 6) se clasificó en 9 clases expresadas en grados: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40 e >40.

El mapa de exposiciones (Figura 7) también se clasificó en 9 clases, que incluyen 8 cuadrantes principales (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW) más la clase de terreno plano.

El mapa de curvatura transversal (Figura 8) reproduce el perfil transversal de las laderas y fue clasificado en 3 clases: cóncavo, plano / rectilíneo y convexo.

El mapa del índice de humedad inverso (IWI) (Figura 9) califica la retención de humedad, el contenido de agua del suelo y las zonas de saturación superficial, a través de la relación, para cada pixel:

$$IWI = \frac{\tan \beta}{\alpha} \quad (1)$$

Donde  $\alpha$  es el área de acumulación aguas arriba (en  $m^2$ ) y  $\beta$  es la pendiente (en grados).

Este mapa se clasificó en 7 clases utilizando un criterio logarítmico: 0; 0-0,0001; 0,0001-0,001; 0,001-0,01; 0,01-0,1; 0,1-1; 1-10.

El mapa de unidades litológicas (Figura 10) se basa en el Mapa Geológico a escala 1:25 000, hojas 453, 454, 455, 464, 465 y 466, del Laboratorio Nacional de Energía y Geología (LNEG), y fue reclasificado en 26 clases, según las litologías dominantes: Aluvión, formas del terreno (ID1); Formación Santa Marta: arenas (ID2); Arenas de Quinta da Torre (ID3); Arcillas y margas de Azeitão (ID4); Calizas margosas de Palhavã (ID5); Formación Marco Furado: argilitas y conglomerados (ID6); Arenitas y calcoarenitas de Pinhel y Castelo de Palmela (ID7); Conglomerados, areniscas y margas de Picheleiros (ID8); Formación Rodízio: pelitas, areniscas y conglomerados (ID9); conglomerados de Comenda (ID10); formaciones indiferenciadas Ulme y Tomar: Arenas, areniscas y argilitas (ID11); Arenas y margas de Quinta do Anjo (ID12); Arcillas, areniscas, conglomerados y calizas de Vale de Rasca (ID13); Calizas de Senhora das Necessidades (ID14); Dolomitas de Convento y São Luís (Formación Achada) (ID15); Conglomerados de Guarda-Mor (ID16); Formación Cantera: Calizas (ID17); Depósitos de talud (ID18); Calizas de Azóia (ID19); Arenas de playa (ID20); Formación Porto da Calada: areniscas, pelitas, calizas y dolomías (ID21); Formaciones indiferenciadas Vale de Lobos y Guia: areniscas, pelitas y calizas (ID22); Formación Fonte Grada: areniscas, conglomerados y pelitas (ID23); Formación Maceira: margas y calizas (ID24); Margas

de Arrábida, arcillas, calizas con guijarros negros y conglomerados (ID25); Areniscas de Marateca (ID26).

El mapa de uso y cobertura del suelo (Figura 11) es una adaptación del nivel 2 del COS2007, considerado adecuado para modelizar la susceptibilidad a los movimientos en masa en las laderas del municipio de Setúbal. Contempla 14 clases: Industria, comercio y transporte (ID1); Aguas marinas y costeras (ID2); Tejido urbano (ID3); Zonas de extracción de inertes, zonas de eliminación de residuos y obras de construcción (ID4); Espacios verdes urbanos, instalaciones deportivas, culturales y de ocio, y zonas históricas (ID5); Cultivos temporales (ID6); Cultivos permanentes (ID7); Praderas permanentes (ID8); Zonas agrícolas heterogéneas (ID9); Bosques (ID10); Bosques abiertos, matorrales y vegetación herbácea (ID11); Suelos desnudos y zonas con poca vegetación (ID12); Humedales costeros (ID13); y Aguas interiores (ID14).

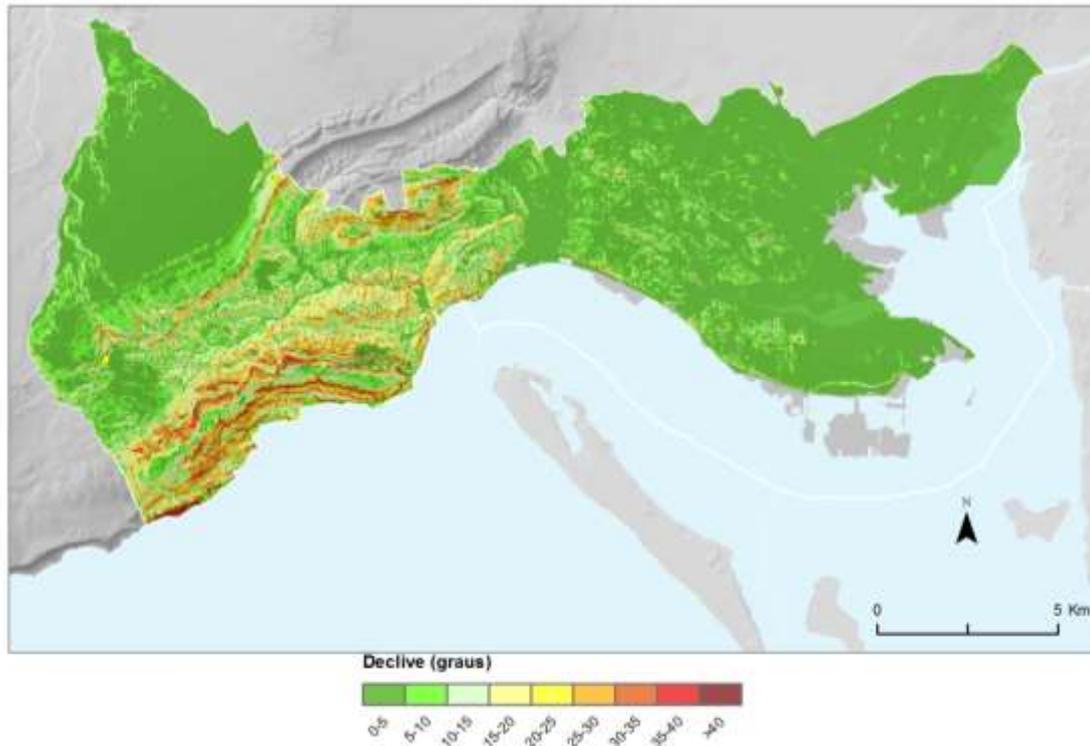


Figura 6 - Pendiente classificado.

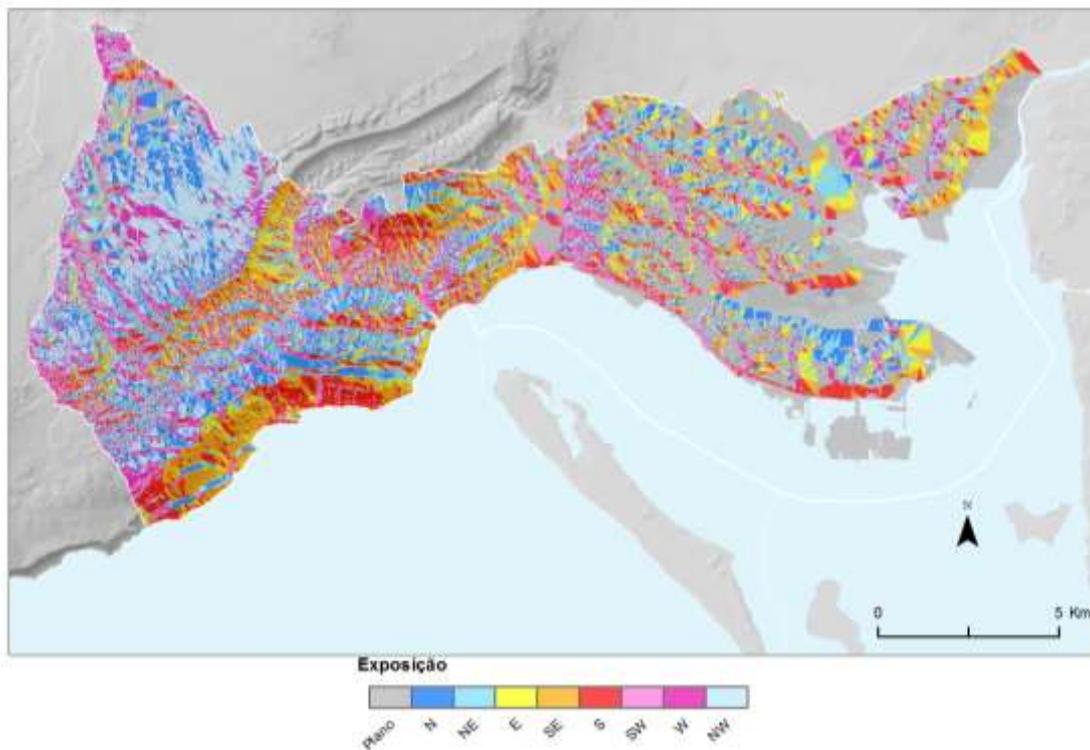


Figura 7 - Exposición classificada.

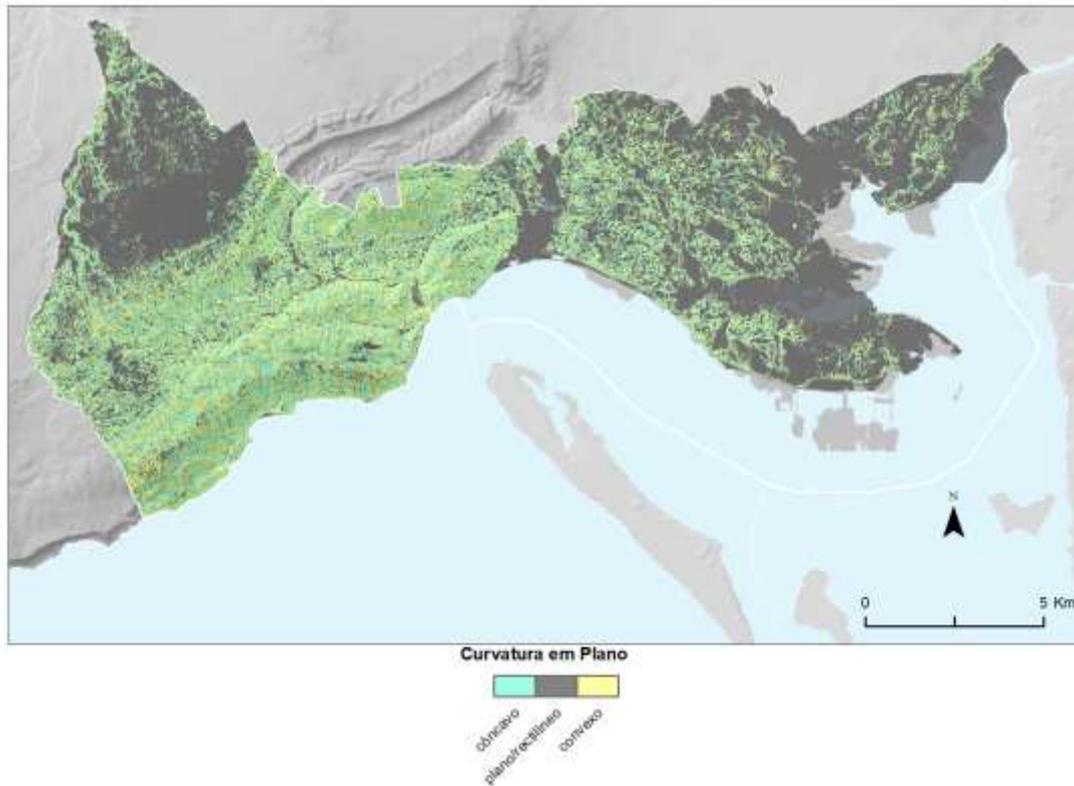


Figura 8 - Curvatura transversal classificada.

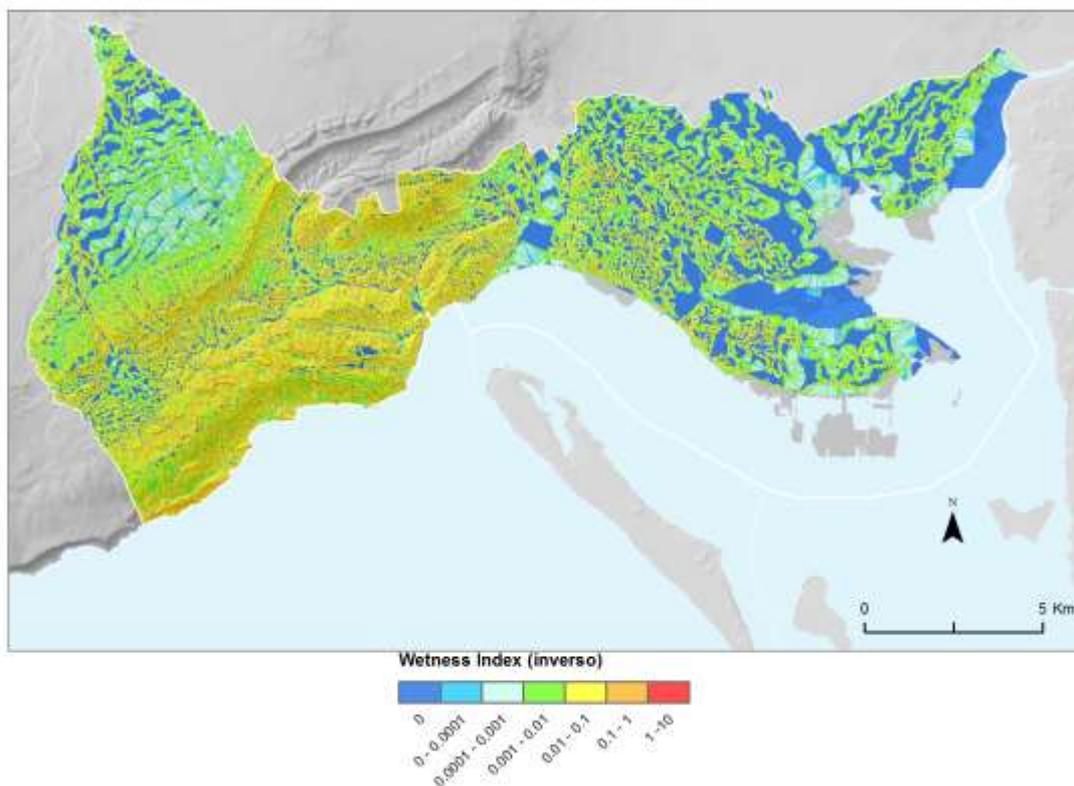


Figura 9 - Wetness Index (Inverso) classificado.

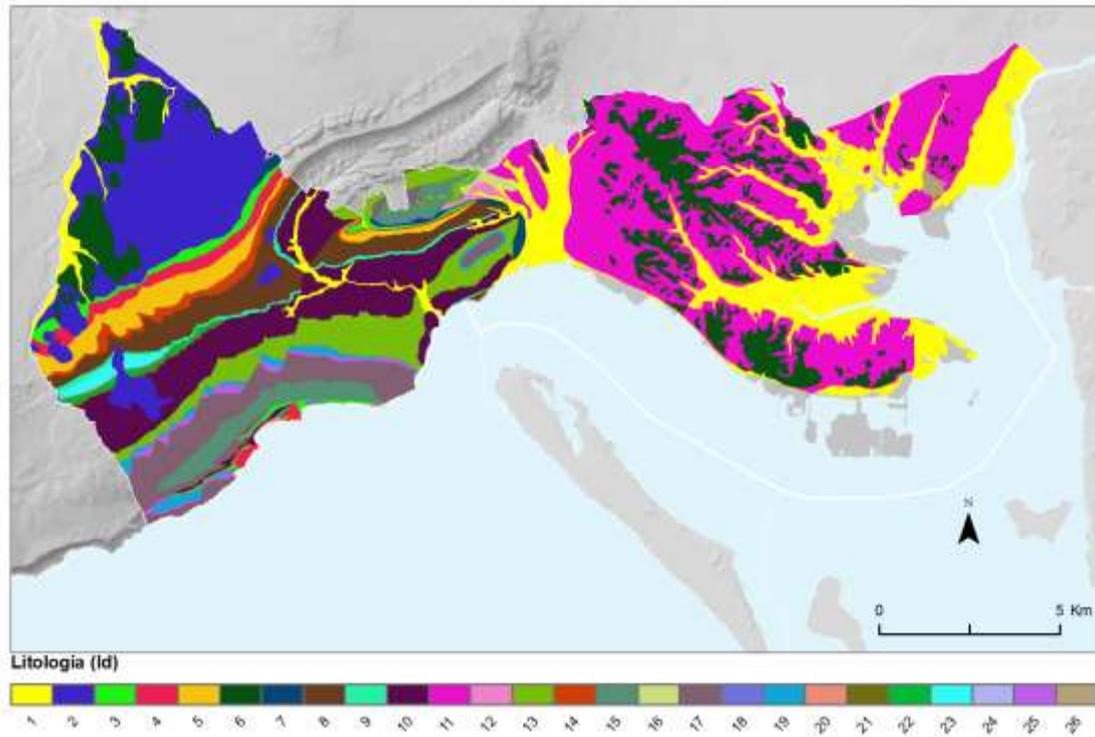


Figura 10 - Unidades litológicas (Leyenda: ver Tabla 1).

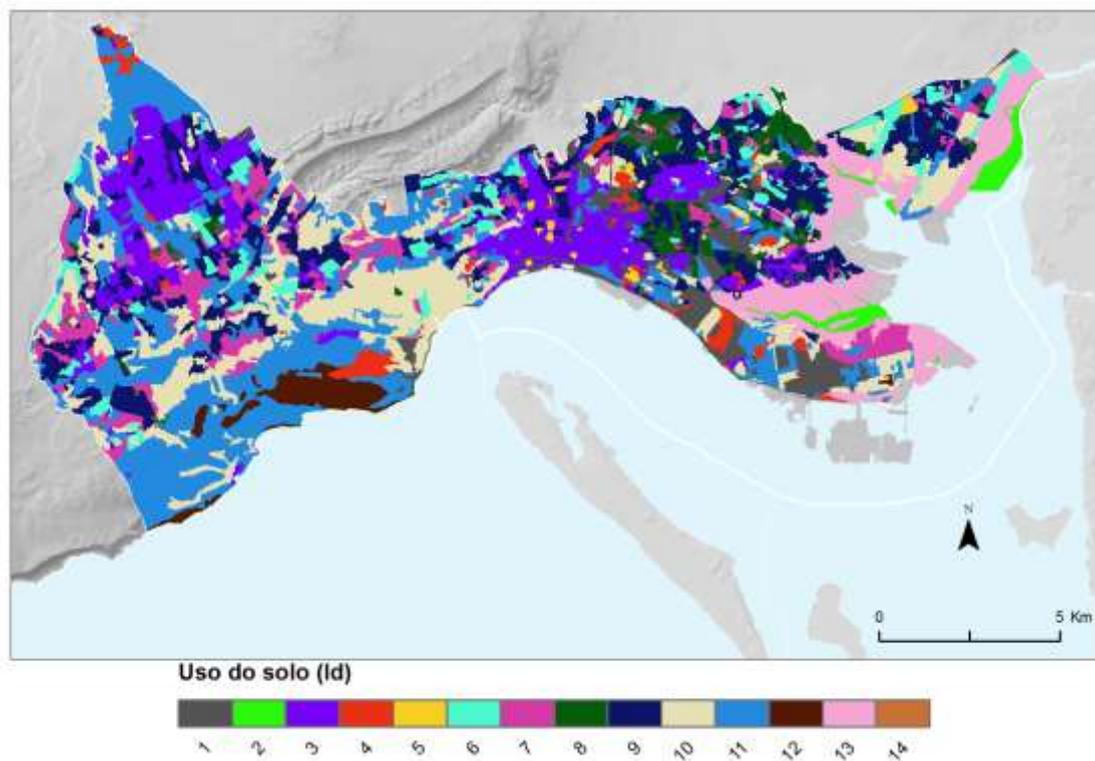


Figura 11 - Uso y cobertura del suelo (Leyenda: ver Tabla 1).

El número de desprendimientos (5) y flujos (4) identificados en el municipio de Setúbal es demasiado pequeño para apoyar una evaluación robusta y autónoma de la susceptibilidad de este tipo de movimientos de masa en las laderas. De este modo, los 9 movimientos en cuestión se agregaron a los 115 deslizamientos y se modelaron juntos. Con este procedimiento, se conserva la información de la totalidad de los movimientos de masas inventariados en las laderas.

La figura 12 ilustra la distribución espacial de los movimientos de masas inventariados en las laderas.



 Movimento massa em vertente

*Figura 12 – Inventario de los movimientos de masas en las laderas del municipio de Setúbal*

El modelo utilizado para evaluar la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa en laderas consistió en el Valor Informativo (Yin & Yan, 1988; Zêzere, 2002), aplicado sobre una base matricial digital con celdas de 5 metros. El Valor Informativo es un método estadístico bivalente especialmente adecuado para estudiar las relaciones entre variables independientes (factores condicionantes)

y una variable dependiente dicotómica (movimientos de masas en pendientes).

El método del valor informativo tiene una base bayesiana, basada en la transformación logarítmica (logaritmo natural) de la relación entre la probabilidad condicionada y la probabilidad a priori. Con este método es posible ponderar cada clase de cada factor de predisposición a la inestabilidad de la pendiente de forma objetiva y cuantificada.

El valor informativo ( $I_i$ ) para cualquier clase  $X_i$  de una variable independiente ( $X$ ) se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$I_i = \ln \frac{S_i / N_i}{S / N} \quad (2)$$

onde:

$S_i$  = número de celdas con movimientos en masa en laderas en variable  $X_i$ , en el municipio de Setúbal;

$N_i$  = número de celdas con variable  $X_i$  en el municipio de Setúbal;

$S$  = Número total de celdas con movimientos en masa en las laderas del municipio de Setúbal;

$N$  = número total de celdas en el municipio de Setúbal.

Debido a la normalización logarítmica,  $I_i$  no es determinable cuando  $S_i = 0$ . En estos casos, se supuso que el valor de  $I_i$  era el decimal más bajo que el menor  $I_i$  determinado para las diferentes clases de la variable considerada.

El valor de la susceptibilidad al movimiento de masas en las pendientes para cada celda  $j$  corresponde al Valor Informativo total, dado por la siguiente ecuación:

$$I_j = \sum_{i=0}^m X_{ij} I_i \quad (3)$$

Onde:

$m = n^{\circ}$  de variables;

$X_{ij}$  es igual a 1 o 0, dependiendo de si la variable  $X_i$  está presente o no en la celda  $j$ , respectivamente.

El método del Valor Informativo se aplicó a todos los movimientos de masas en laderas del municipio de Setúbal y los resultados obtenidos se sistematizan en la Tabla 1. Las clases con mayor influencia en la distribución espacial de los movimientos de masas en las laderas están marcadas en negrita.

La pendiente de los taludes es una variable absolutamente determinante en la inestabilidad de los mismos. En el caso del municipio de Setúbal, las laderas con pendiente superior a  $20^{\circ}$  son muy susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.

En cuanto a la exposición de las laderas, parece que los movimientos en masa están asociados principalmente a las laderas expuestas al S y al SE, especialmente en la ladera norte de la Serra de S. Francisco y a lo largo de toda la franja costera.

Los movimientos de masas en las laderas se producen predominantemente asociados a laderas con curvatura plana o cóncava y en clases de índice de humedad con valores superiores a 0,1.

Los depósitos de ladera son la unidad litológica más favorable para la ocurrencia de movimientos en masa en laderas en el municipio de Setúbal. Siguen, por orden de importancia: los conglomerados de Guarda-Mor; las margas, arcillas, calizas con guijarros negros y conglomerados de Arrábida; las arenas de Quinta da Torre y las calizas de la Formación Pedreiras.

Tabla 1 - Valores informativos de las clases de los 6 factores predisponentes utilizados para evaluar la susceptibilidad al movimiento de masas en las laderas, en el municipio de Setúbal

ID	Classes	Valor Informativo
<b>Tema: Declive (graus)</b>		
1	0-5	-3.145
2	5-10	-1.772
3	10-15	0.048
4	15-20	0.895
5	20-25	<b>1.315</b>
6	25-30	<b>1.615</b>
7	30-35	<b>2.122</b>
8	35-40	<b>2.633</b>
9	>40	<b>2.953</b>
<b>Tema: Exposição</b>		
1	Plano	-2.432
2	N	-3.768
3	NE	-2.682
4	E	0.420
5	SE	<b>1.372</b>
6	S	<b>1.166</b>
7	SW	0.219
8	W	-0.436
9	NW	-1.606
<b>Tema: Curvatura Plana</b>		
1	côncavo	<b>0.822</b>
2	rectilíneo/plano	-1.985
3	convexo	0.555
<b>Tema: Wetness Index (Inverso)</b>		
1	0	-3.295
2	0-0.0001	-2.862
3	0.0001-0.001	-1.632
4	0.001-0.01	-0.578
5	0.01-0.1	0.541
6	0.1-1	<b>1.361</b>
7	1-10	<b>2.662</b>
<b>Tema: Litologia</b>		
1	Aluviões, aterros	-2.600
2	Formação de Santa Marta: areias	-2.600
3	Areias da Quinta da Torre	<b>1.755</b>
4	Argilitos e margas de Azeitão	0.417
5	Calcários margosos de Palhavã	0.297
6	Formação de Marco Furado: argilitos e conglomerados	-2.227
7	Arenitos e calcoarenitos de Pinhel e Castelo de Palmela	0.107
8	Conglomerados, arenitos e margas de Picheleiros	<b>1.051</b>
9	Formação de Rodízio: pelitos, arenitos e conglomerados	<b>1.191</b>
10	Conglomerados de Comenda	0.422
11	Formações de Ulme e de Tomar indiferenciadas: areias, arenitos e argilitos	-2.505
12	Areias e margas de Quinta do Anjo	0.899
13	Argilas, grés, conglomerados e calcários de Vale de Rasca	0.002
14	Calcários da Senhora das Necessidades	0.207
15	Dolomitos do Convento e de São Luís (Formação de Achada)	0.351
16	Conglomerados de Guarda-Mor	<b>2.247</b>
17	Formação de Pedreiras: calcários	<b>1.666</b>
18	Depósitos de vertente	<b>4.137</b>
19	Calcários de Azóia	<b>1.043</b>
20	Areias de praia	<b>1.483</b>
21	Formação de Porto da Calada: arenitos, pelitos, calcários e dolomitos	-2.600
22	Formações de Vale de Lobos e de Guia indiferenciadas: arenitos, pelitos e calcários	-0.456
23	Formação de Fonte Grada: arenitos, conglomerados e pelitos	-2.600
24	Formação de Maceira: margas e calcários	-2.600
25	Margas, argilas, calcários com calhaus negros e conglomerados de Arrábida	<b>1.760</b>
26	Arenitos de Marateca	-2.600
<b>Tema: Uso do Solo</b>		
1	Indústria, comércio e transportes	-3.730
2	Águas marinhas e costeiras	-0.112
3	Tecido urbano	-1.986
4	Áreas de extracção de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção	-1.071
5	Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas	-3.800
6	Culturas temporárias	-1.816
7	Culturas permanentes	-0.666
8	Pastagens permanentes	-3.800
9	Áreas agrícolas heterogéneas	-0.846
10	Florestas	0.329
11	Florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea	0.701
12	Zonas descobertas e com pouca vegetação	<b>2.065</b>
13	Zonas húmidas litorais	-3.800
14	Águas interiores	-3.800

En cuanto a los tipos de uso y cobertura del suelo, los movimientos de masas en las laderas se producen principalmente asociados a la clase de zonas desnudas y con poca vegetación.

La susceptibilidad a la ocurrencia de cada tipo particular de deslizamiento se hizo integrando los Valores Informativos de la Tabla 1 en la ecuación (3).

La validación de los resultados se realizó mediante la determinación del índice de éxito del modelo, obtenido al cruzar los resultados de la evaluación de la susceptibilidad con los movimientos de masa inventariados en las laderas. Técnicamente, la tasa de éxito permite determinar el ajuste del modelo de predicción de la susceptibilidad a los datos que le dieron origen. La expresión gráfica de la tasa de éxito se obtiene mediante la representación del porcentaje del área de estudio, jerarquizado por orden decreciente de inestabilidad (en abscisas) y la correspondiente distribución acumulativa del área inestable correctamente clasificada (en ordenadas).

La figura 13 representa la curva de éxito del modelo de susceptibilidad a los movimientos en masa en las laderas del municipio de Setúbal. Las clases de susceptibilidad se definieron a partir del trazado de las curvas de éxito y el área validada correspondiente. Así, los límites de las clases de susceptibilidad Muy Alta (I), Alta (II), Moderada (III), Reducida (IV) y Muy Reducida (V) fueron definidos, respectivamente, por los siguientes valores de área de deslizamiento acumulada: 50%, 70%, 90%, 95% y 100%..

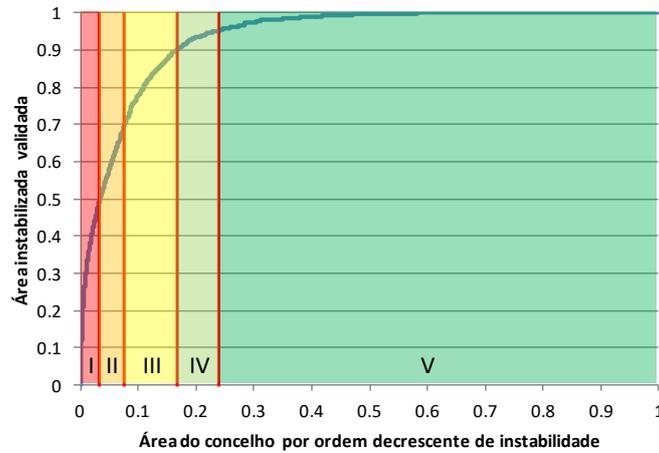


Figura 13 - Curva de suceso del modelo de susceptibilidad al movimiento de masas en las laderas. Clases de susceptibilidad: I - Muy alta; II - Alta; III - Moderada; IV - Baja; V - Muy baja

La figura 14 representa el mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa en las laderas del municipio de Setúbal.

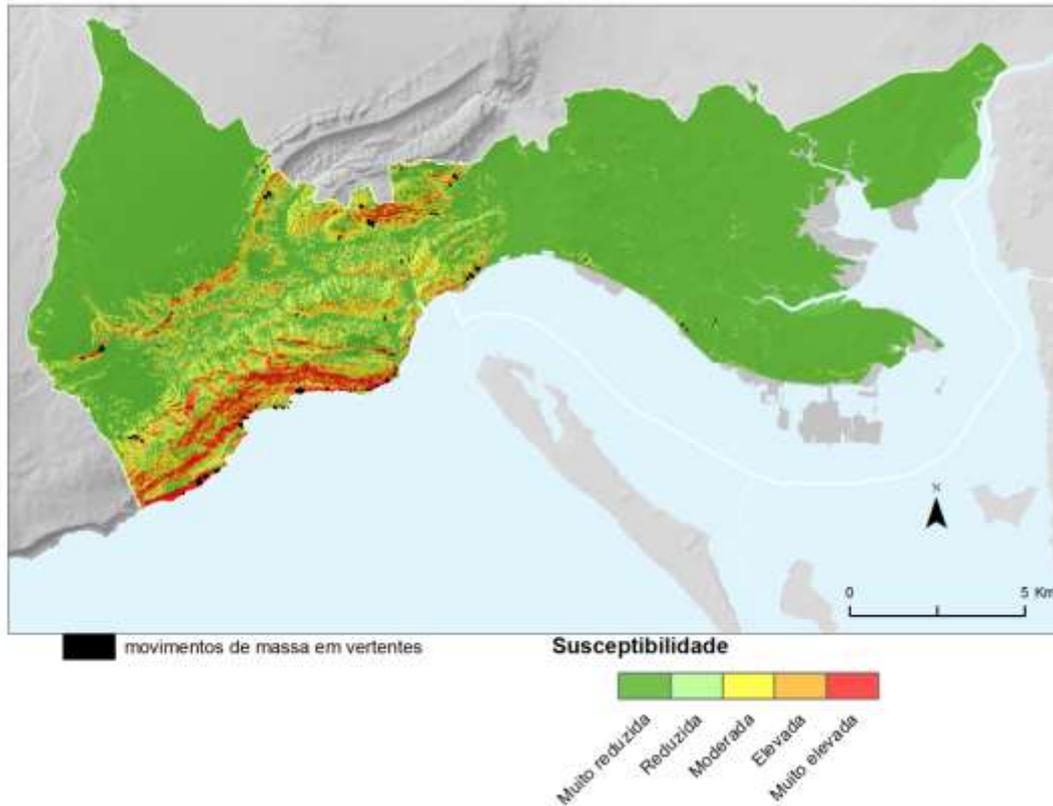


Figura 14 - Suscetibilidade a movimentos de massa em vertentes no município de Setúbal

De acuerdo con las Directrices Estratégicas Nacionales, las laderas clasificadas como más susceptibles por la aplicación del método del Valor Informativo deben integrarse en la REN. La superficie a incluir en el REN debe ser suficiente para garantizar la inclusión de una fracción no inferior al 70% de las zonas identificadas como inestables en el inventario. Así, se espera que alrededor del 30% de los movimientos de masas en las laderas no sean incluidos en el REN por el modelo predictivo basado en la aplicación del Valor Informativo. La superficie correspondiente a los movimientos en masa en los taludes en cuestión debe incluirse directamente en el REN, más una franja de seguridad de 10 m definida fuera de los límites de cada movimiento.

Los escarpes (laderas con una pendiente superior al 100% o 45°) deben delimitarse e incluirse directamente en el REN, como zonas de inestabilidad de las laderas. Además, se incluyen franjas de protección delimitadas desde el borde superior y la base, cuya anchura se determina en función de la geodinámica y el tamaño de los escarpes y del interés paisajístico y geológico del lugar.

La zona seleccionada para integrar el REN corresponde a las laderas clasificadas como de muy alta y alta susceptibilidad en la figura 10. El índice de éxito del modelo de susceptibilidad indica que estas dos clases validan el 70% de todos los movimientos en masa en laderas identificados en el municipio de Setúbal, por lo que se cumple el requisito establecido en las Directrices Estratégicas Nacionales y Regionales previstas en el Régimen Jurídico de la Reserva Ecológica Nacional, Orden nº 336/2019, de 26 de septiembre.

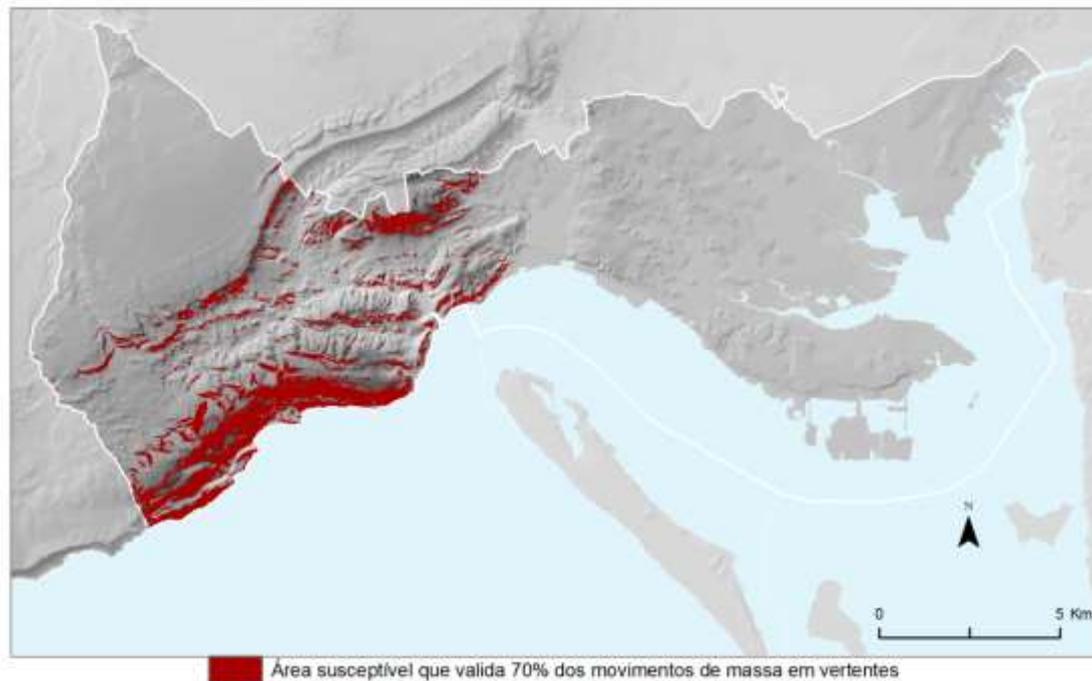
Como se muestra en la Tabla 2, las áreas cubiertas por las clases de susceptibilidad Muy Alta y Alta corresponden al 8,1% de la superficie del municipio de Setúbal, cubriendo 12,8 km<sup>2</sup>. Estos taludes constituyen la mayor fracción de las zonas de inestabilidad de los taludes que deben integrar el REN y se muestran en la figura 15.

Cabe destacar que los resultados obtenidos de la modelización SIG se generalizaron a partir de la definición de unidades

cartográficas de tamaño mínimo equivalente a 1000 m<sup>2</sup>, para aumentar la compacidad de las manchas REN, deseable para fines de gestión territorial. Este valor corresponde a cerca de 1/3 de la superficie media de movimientos en masa en laderas inventariadas en el municipio de Setúbal, considerándose ajustado a la realidad del territorio, a efectos de generalización.

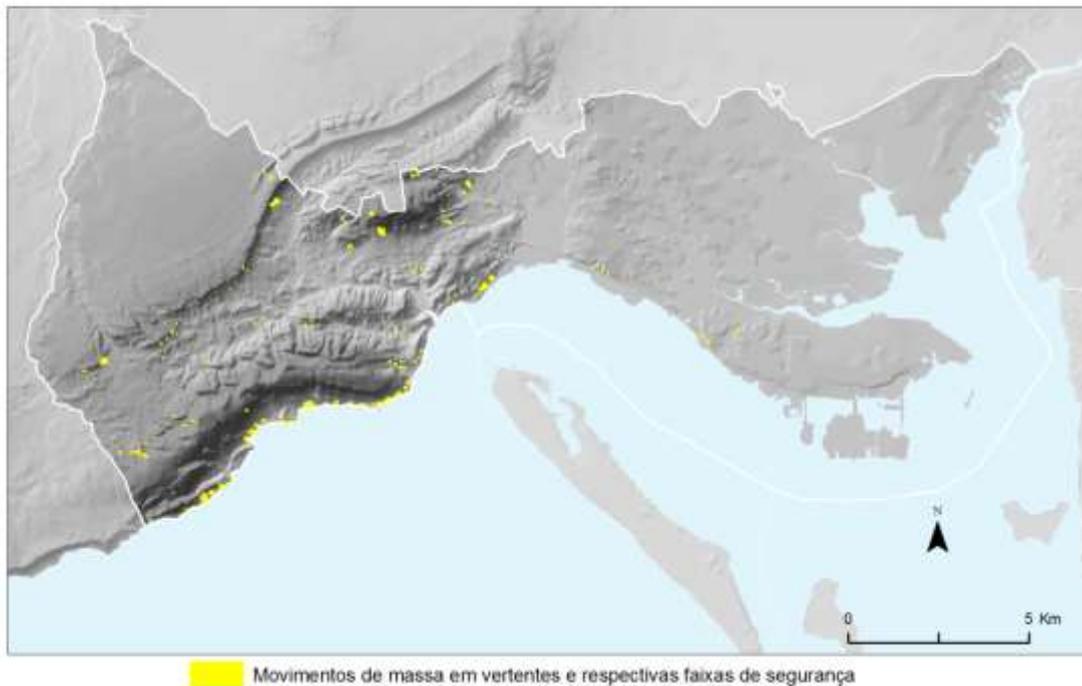
*Tabla 2 - Área cubierta (%) por las clases de susceptibilidad en el municipio de Setúbal*

<b>Clases de susceptibilidade</b>	<b>% do território concelhio</b>
Muito elevada	3,4
Elevada	4,7
Moderada	8,9
Reduzida	4,7
Muito reduzida	78,7



*Figura 15 - Superficie necesaria para validar el 70% de los movimientos de masa en los taludes del inventario, para integrar las Zonas de Inestabilidad de los Taludes*

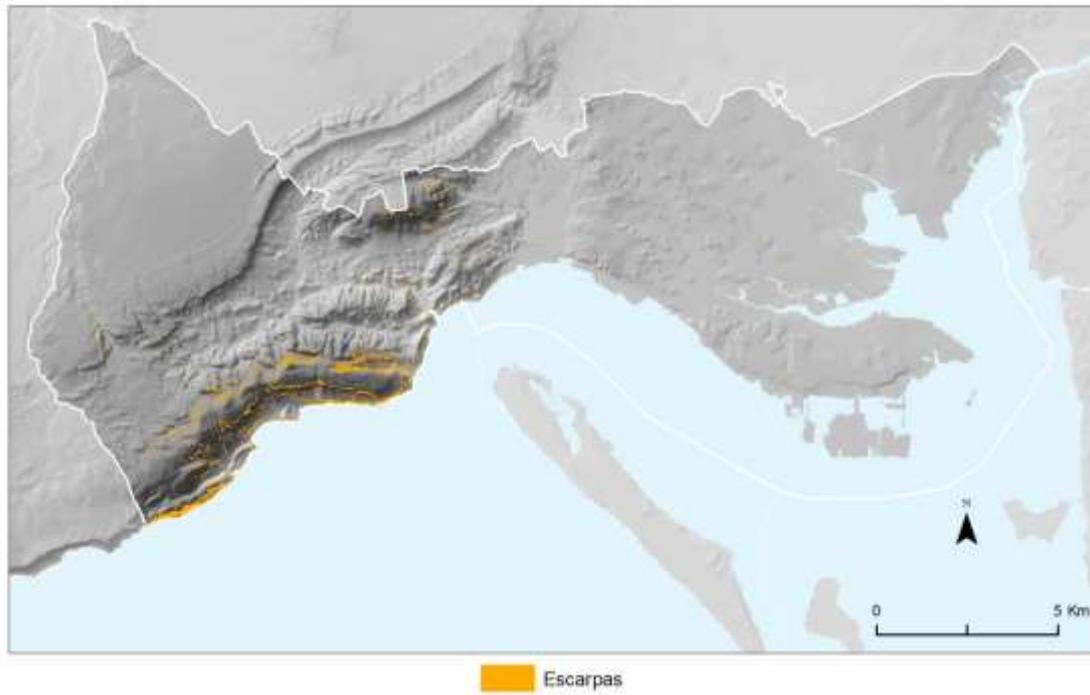
Dado que se espera que alrededor del 30% de los movimientos de masa en laderas no estén cubiertos por el parche de la Figura 15, se aplicó un buffer de 10 m a todos los 124 movimientos de masa inventariados en laderas del municipio de Setúbal. El número total de desprendimientos y sus franjas de protección están representados en la Figura 16 y representan el segundo elemento a integrar en las Áreas de Inestabilidad de Laderas de la REN, cubriendo una superficie de 0,72 km<sup>2</sup>.



*Figura 16 - Movimientos de masas en los taludes y sus respectivas franjas de seguridad, para integrar las zonas de inestabilidad de los taludes*

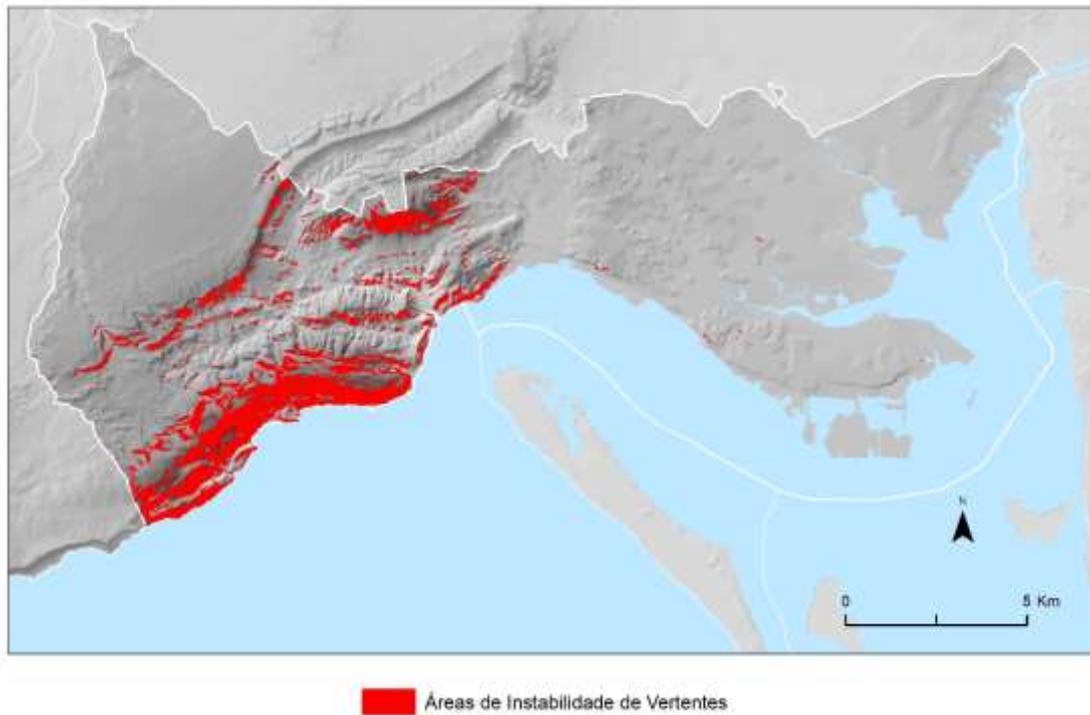
Por último, se han delimitado los escarpes (pendientes con una inclinación superior al 100 % o 45°), que se muestran en la figura 17. Los escarpes cubren una superficie de 0,65 km<sup>2</sup> y se encuentran casi en su totalidad dentro de la zona de laderas con susceptibilidad Muy Alta y Alta. Por este motivo, no se ha considerado necesario delimitar las franjas de protección de los escarpes, desde el borde superior y la base, ya que estas zonas ya están incluidas en las Áreas de Inestabilidad de Taludes integradas en la REN.

Cabe señalar que el procedimiento de generalización cartográfica no se extendió a las escarpas, ya que su proyección horizontal es muy pobre en comparación con su superficie real. La opción de no generalizar también se adoptó en el caso de la representación de los movimientos en masa en las laderas y sus respectivos topes, para no correr el riesgo de eliminar de la REN alguna zona conocida por su inestabilidad.



*Figura 17 - Escarpas (pendiente > 45°), para integrar las zonas de inestabilidad de los taludes*

Las Zonas de Inestabilidad de Laderas de la Reserva Ecológica Nacional en el municipio de Setúbal están representadas en la Figura 18 y resultan de la unión de las Figuras 15, 16 y 17. La superficie total cubierta por este elemento de la REN corresponde a 14,2 km<sup>2</sup>, lo que representa el 6,2% de la superficie del municipio de Setúba.



*Figura 18 - Zonas de inestabilidad de laderas de la Reserva Ecológica Nacional*

## 5. CONCLUSIONES

El municipio de Setúbal está expuesto a 3 tipos de riesgos naturales relacionados directa o indirectamente con el clima: la erosión y el desbordamiento en las costas arenosas, las inundaciones y las crecidas, y los movimientos en masa en las laderas. Estos procesos naturales están considerados legalmente en Portugal, estando integrados en la Reserva Ecológica Nacional (REN) bajo las figuras de Zonas de Peligro Marítimo (ZAM), Zonas de Peligro de Inundación (ZAC) y Zonas de Inestabilidad de Taludes (AIV).

Las ZAA se establecieron en función de la elevación media del nivel del mar, la elevación máxima de la marea astronómica, la subida meteorológica del nivel del mar (marea de tormenta) y la propagación de las olas. Las ZAM abarcan 0,24 km<sup>2</sup> en el municipio de Setúbal y cubren todas las playas del municipio; sin embargo, las zonas más

críticas se observan en el puerto de Secil y en la desembocadura de la Ribeira da Comenda.

La delimitación de las ZAC se realizó mediante la integración de un mapa de zonas de inundación en áreas urbanas elaborado con el modelo informático HEC-RAS, el mapa de inundación del principal curso de agua del municipio (Ribeira do Livramento) elaborado en el marco del Plan de Gestión de Riesgos de Inundación de la Región Hidrográfica 6, el mapa de zonas de inundación del río Sado y un modelo empírico de identificación de tramos de cursos de agua con alta susceptibilidad de inundación y la espacialización de las respectivas zonas de inundación. Las ZAC ocupan 71,8 km<sup>2</sup> en relación con las inundaciones estuariales, a las que se añaden 6,6 km<sup>2</sup> correspondientes a las zonas amenazadas por las inundaciones repentinas asociadas a los cursos de agua distintos del río Sado, especialmente el arroyo Livramento que atraviesa la ciudad de Setúbal, en un recorrido subterráneo en la mayor parte de su longitud.

Los AIV se delimitaron agregando las clases de susceptibilidad alta y muy alta, obtenidas con el método del Valor Informativo, con los escarpes y todos los movimientos del talud de inventario más un *buffer* de 10 metros. Las AIV cubren 14,2 km<sup>2</sup>, con énfasis en la zona de la Serra da Arrábida, particularmente en las laderas de las montañas de Formosinho y S. Luis, así como en la expuesta ladera norte de la montaña de S. Francisco, que corresponde a un relieve estructural de tipo cuesta. 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 las zonas de inestabilidad de las laderas en su práctica totalidad.

## REFERENCIAS

Andrade, C., Pires, H. O., Silva, P., Taborda, R. e Freitas, M. C. (2006) – Zonas Costeiras. In: Santos, F. D. e Miranda, P. (Eds). Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Projecto SIAM II, Gradiva: 169-208.

Antunes, C. e Taborda, R. (2009) - Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results. Journal of Coastal Research SI 56 (1): 218-222.

APA (2015) – Plano de Gestão dos Riscos de Inundação. Região Hidrográfica 6 – Sado e Mira. Zonas Críticas: Setúbal, Alcácer do Sal e Santiago do Cacém.

Dias, J.; Taborda, R. (1992) - Tidal gauge data in deducing secular trends of relative sea level and crustal movements in Portugal. *Journal of Coastal Research* 8: 655-659.

Julião, R.P.; Nery, F.; Ribeiro, J.L.; Castelo Branco, M.; Zêzere, J.L. (2009) – Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal. Autoridade Nacional de Protecção Civil, Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Instituto Geográfico Português.

Marques, F.; Andrade, C.; Taborda, R.; Freitas, C.; Antunes, C.; Mendes, T.; Carreira, D. (2009) - Zonas Costeiras in F.D.Santos (edit.) *Plano Estratégico do Concelho de Sintra Face às Alterações Climáticas*, Câmara Municipal de Sintra, 62 pp.

PROCESL (2011) - Plano de Drenagem Pluvial das bacias do concelho de Setúbal, 2ª fase - Relatório Final (Memória descritiva e justificativa), C. M. Setúbal.

Ramos, C.; Zêzere, J.L.; Reis, E.; Mendonça, J.L. (2008) – Reserva Ecológica Nacional do Oeste e Vale do Tejo – Quadro de Referência Regional. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Lisboa.

Ramos, C.; Zêzere, J.L.; Reis, E.; Mendonça, J.L. (2010) – Reserva Ecológica Nacional da Área Metropolitana de Lisboa – Quadro de Referência Regional. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Lisboa.

Reis, E. (2011) - Análise de bacias hidrográficas, susceptibilidade à ocorrência de cheias e Sistemas de Informação Geográfica: da definição do quadro conceptual até à proposta de um modelo de avaliação, VIII Congresso da Geografia Portuguesa, APG, Lisboa, 6 p, CD-ROM SIG-130-598-2.

Taborda, R.; Andrade, C.; Marques, F.; Freitas, M.; Rodrigues, R.; Antunes, C.; Pólvora, C. (2010) - Plano estratégico de Cascais face às alterações climáticas - Sector zonas costeiras.

Varnes, D.J. and the International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes (1984) - *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Paris.

Yin, K. L.; Yan, T. Z. (1988) - Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. In Bonnard, C. (Ed.), *Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, 2, Balkema, Rotterdam, p. 1269–1272.

Zêzere, J.L. (2002). Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, 1/2: 73-82.

Zêzere, J.L.; Garcia, R.A.C.; Oliveira, S.C.; Reis, E. (2008). Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology*, 94, 3-4: 467-495.