

## Susceptibilidade a movimentos de vertente e cheias repentinas no apoio à Protecção Civil

Carlos Valdir Meneses Bateira\*

Susana da Silva Pereira\*\*

Luciano Fernando Ribeiro Martins\*\*\*

Mónica Sofia Moreira Santos\*\*\*\*

\* Professor Auxiliar, Departamento de Geografia, Universidade do Porto - cbateira@gmail.com

\*\* Bolseira da FCT, Estudante de Doutoramento em Geografia Física, Departamento de Geografia, U.P. - spereirageo@gmail.com

\*\*\* Estudante de Mestrado em SIG e Ordenamento do Território - lumartinsgeo@gmail.com

\*\*\*\* Estudante de Mestrado em SIG e Ordenamento do Território - monica.s.m.santos@gmail.com

**Resumo** – A avaliação dos riscos naturais, no âmbito da Protecção Civil, é essencial na prevenção e mitigação de situações de emergência. Do conjunto dos riscos naturais que afectam o distrito do Porto, os movimentos de vertente e as cheias repentinas são os que têm demonstrado maior perigosidade nos últimos anos perante situações de acréscimo de intervenção humana sobre o território.

Com o apoio das ferramentas do ArcGis 9.1 desenvolvemos uma Geodatabase para compilar a informação cartográfica e respectivos atributos relativos a 3 temas principais: a informação histórica das ocorrências de cheias (2002-2003) e movimentos de vertente (1996-2006); os factores condicionantes (geomorfológicos, hidrológicos e litológicos) e os factores desencadeantes (antrópicos e hidrogeomorfológicos). Procedeu-se à normalização e ponderação de vários factores condicionantes nas extensões 3D Analyst e Spatial Analyst, para a avaliação da perigosidade a movimentos de vertente e cheias repentinas à escala 1:50 000.

Na avaliação da susceptibilidade a movimentos de vertente foram ponderados factores como a litologia, a morfologia e a dinâmica geomorfológica. Nas cheias repentinas ponderaram-se as precipitações extremas, os declives, a litologia e elementos morfológicos.

A maior susceptibilidade a movimentos de vertente observa-se nas áreas montanhosas e de relevo intermédio a Este do Distrito, ao longo do Vale do Douro, nas Serras de Valongo e Colinas de xisto. Nas cheias repentinas, a maior susceptibilidade situa-se nas áreas montanhosas onde prevalecem os factores naturais e nas áreas urbanas onde a intervenção antrópica é determinante.

No futuro, é essencial completar a base de dados de ocorrências para um período temporal mais alargado e realizar cartografia de susceptibilidade natural a uma escala de pormenor, prioritariamente nas áreas urbanas, de modo a constituir uma base de trabalho da Protecção Civil Distrital e Municipal e fornecer instrumentos de apoio ao ordenamento do território a várias escalas de intervenção.

**Abstract** – «Landslide and flash floods susceptibility in Civil Protection support»

Natural hazards assessment concerning Civil Protection is crucial for emergency situations prevention and mitigation. Among the natural hazards affecting the district of

Oporto the landslides and the flash floods are over the last years those which presented hazard, mainly resulting from the increase of the human action on territory.

Using Arcgis 9.1's tools we've developed a Geodatabase joining cartographic information and related attributes concerning 3 main themes: historic information from floods (2002-2004) and landslides occurrences (1996-2006); conditioning factors (geomorphologic, hydrologic and lithologic) as well as triggering factors (human or hidrogeomorphologic).

Several conditioning factors were normalized and weighed in 3D Analyst e Spatial Analyst extensions in order to assess landslides and flash floods hazard at 1:50 000 scale.

In landslide susceptibility assessment were considered factors such as lithology, morphology as geomorphologic dynamics. Concerning flash floods were pondered extreme precipitations, slope, lithology and morphological elements.

Greater landslide susceptibility is registered in mountainous and intermediate relief areas in the eastern part of the district (along Douro's Valley), at Valongo's quartzite crests and at metamorphic hillslopes. Referring to flash floods larger susceptibility is located in mountainous areas where natural factors prevail. At the urban areas the human intervention plays a major role.

It will be crucial to extend the occurrences database comprising a larger temporal range, producing natural hazard's susceptibility cartography at a detailed scale, mainly in urban areas. This will contribute to build a District and Municipal base to Civil Protection workflow and give the support instruments for land management at several intervention scales.

## 1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais os danos decorrentes da dinâmica do meio físico têm contribuído para a sensibilização dos dirigentes e técnicos dos vários organismos responsáveis pela gestão do território para a utilização da cartografia de riscos naturais no âmbito do planeamento e ordenamento do território. Este processo de sensibilização tem assumido uma importância cada vez maior no âmbito da protecção civil, resultando da dificuldade em organizar o processo de protecção e socorro, uma vez instalada uma crise resultante de processos da dinâmica natural, como por exemplo os movimentos de vertente que ocorreram em Portugal no inverno de 2000/2001.

O presente trabalho integra-se no âmbito de um protocolo de cooperação entre o Departamento de Geografia da FLUP e o Governo Civil do Porto, visando a elaboração de cartografia da susceptibilidade a movimentos de vertente, cheias repentinas e processos de erosão costeira, no distrito do Porto. Subjacente a este propósito inicial estava a criação, pelas entidades anteriores, de um Sistema Integrado de Gestão de Emergências do Distrito do Porto (SIGEP), pioneiro em Portugal. Desde Agosto de 2007, o SIGEP integra a cartografia efectuada, encontrando-se disponível online para consulta de todos os agentes de protecção civil distrital e municipal. Este trabalho contou com a colaboração da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional-Norte (CCDR-N) que cedeu a cartografia de base, o que se revelou essencial para a sua realização.

O objectivo deste texto é dar conta do trabalho desenvolvido, apresentando-se os critérios que presidiram à definição e construção da cartografia de susceptibilidade a movimentos de vertente e cheias repentinas ao nível do distrito, que foi incorporada posteriormente na Base de Dados do SIGEP.

A cartografia proposta foi apresentada à escala 1:50 000. A escolha desta escala de trabalho tem como objectivo a elaboração de um documento cartográfico de apoio à identificação de áreas afectadas pela dinâmica do meio físico, passíveis de provocar catástrofes naturais.

A produção da cartografia da susceptibilidade natural pode ser executada a diferentes escalas, no entanto, a cada escala correspondem objectivos, métodos e critérios diversos. A escolha desta escala de trabalho corresponde à necessidade de entender a variação espacial dos factores permanentes do risco natural no distrito do Porto. Os resultados permitem identificar áreas prioritárias para uma posterior análise de pormenor, ao nível municipal, onde é essencial promover estudos detalhados para a definição das estratégias a desenvolver pela protecção civil, integrando perspectivas de ordenamento capazes de prevenir problemas futuros.

Optámos pela análise dos movimentos de vertente e das cheias repentinas porque são os riscos naturais que, nos últimos anos, têm demonstrado maior perigosidade devido a uma cada vez maior intervenção humana sobre o meio físico. A impermeabilização das áreas urbanas e periurbanas, a ocupação de leitos de inundação, as intervenções junto do litoral, as intervenções nas vertentes e dos valeiros de escoamento esporádico são crescentes, já que a intervenção humana revela um desconhecimento deste tipo de dinâmica.

## 1.1. Características gerais do meio físico do Distrito do Porto

### 1.1.1. Os Sistemas, unidades e elementos territoriais

A diversidade litológica e morfológica da área de estudo justifica-se, em parte, pela sua integração na Zona Centro-Ibérica do Maciço Hespérico. Neste domínio estrutural, a uma deformação tectónica intensa e precoce associase um metamorfismo regional de grau elevado, combinando-se rochas do complexo xisto-grauváquico ante-ordovícico e extensas intrusões graníticas sin-orogénicas. Na proximidade dos principais cursos de água (como os rios Douro, Leça e Ave), os aluviões recentes e os terraços a várias altitudes, bem como alguns retalhos de depósitos indiferenciados, por vezes recobertos por formações solifluxivas que testemunham a dinâmica quaternária (Pereira et al., 1992).

Do ponto de vista da geomorfologia e da susceptibilidade geomorfológica, na área abrangida pelo distrito do Porto é possível identificar sistemas territoriais que agrupam características morfológicas específicas, definindo sectores que apresentam “... no seu interior, atributos de terreno comuns, diferentes das áreas adjacentes” (Cook e Doorkamp, 1990, p. 20).

Estes sistemas permitem associar características do terreno, partindo de conjuntos estruturantes da paisagem, nos quais se incluem as grandes unidades litológicas, os eixos dominantes da fracturação, e as unidades geomorfológicas e hidrológicas.

Tendo por base as cartas topográficas do distrito, à escala 1: 25 000, e as cartas geológicas à escala 1: 50 000, delimitaram-se os seguintes sistemas geomorfológicos para o distrito do Porto (Figura 1):

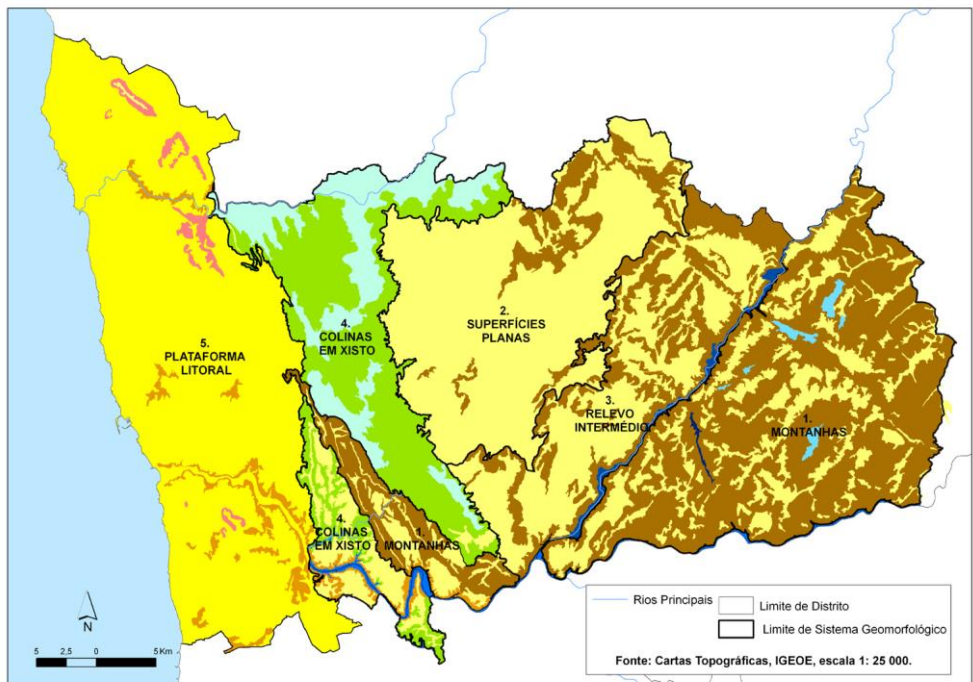
- 1 - Áreas de Montanha (Serras da Aboboreira, Marão e Valongo);
- 2 - Superfícies Planas;
- 3 - Relevo Intermédio;

- 4 - Colinas em Metassedimentos;
- 5 - Plataforma Litoral;
- 6 -Encaixe da rede hidrográfica principal (na área da plataforma litoral).

Os sistemas territoriais são divisíveis em sectores mais pequenos, as unidades territoriais, que podem ser analisadas segundo os diferentes elementos que as constituem. Cada unidade territorial é afectada por uma dinâmica geomorfológica própria, de acordo com o conjunto de processos erosivos que contribuem para a sua evolução.

No que se refere aos movimentos de vertente, é fundamental definir as unidades e os elementos territoriais onde a sua ocorrência é possível, bem

Figura 1. Sistemas e Unidades morfológicas do Distrito do Porto



SISTEMA GEOMORFOLÓGICO	1. MONTANHAS	2. SUPERFÍCIES PLANAS	3. RELEVO INTERMÉDIO	4. COLINAS EM XISTO	5. PLATAFORMA LITORAL
UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #8B4513; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Vertentes</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #FFD700; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Superfícies aplanadas e degradadas</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #00008B; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Vale de Fractura</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #00BFFF; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Depressão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #8B4513; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Vertentes</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #FFD700; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Superfícies aplanadas e degradadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #8B4513; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Vertentes</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #FFD700; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Superfícies aplanadas e degradadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Colinas em xisto</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ADD8E6; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Depressões</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #FF8C00; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Encaixe da Rede Hidrográfica principal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #FFFF00; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Áreas aplanadas</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #FF0000; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Relevo Marginal</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #FF8C00; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Encaixe da Rede Hidrográfica principal</li> </ul>

como as suas características principais. Por exemplo, o sistema de montanha situado no sector oriental do distrito do Porto, pode ser subdividido em várias unidades que correspondem, designadamente, às vertentes, superfícies aplanadas degradadas a várias altitudes, depressões e vales de fractura. Cada uma destas unidades encerra vários elementos, nomeadamente, no caso das vertentes: topo, base e rechã.

### 1. Montanhas

A serra do Marão (parte ocidental) e a serra da Aboboreira constituem o conjunto

montanhoso mais elevado do distrito do Porto, que fazem parte de um conjunto de alinhamentos do NW português influenciados pela acção da tectónica recente.

O levantamento tectónico deste sector do maciço antigo condicionou a sua morfologia com um poderoso encaixe dos cursos de água, ao longo da rede de fracturação (A. Ribeiro, 1988).

1

Este sistema morfológico tem extensas áreas de declives muito elevados, o que condiciona, de forma importante, a dinâmica de vertentes. Os inúmeros depósitos de vertente, a par dos preenchimentos de fundo de vale denunciam essa dinâmica, que pontualmente é evidenciada pela ocorrência de movimentos de vertente. Os movimentos de vertente abrangem os casos de desabamento, balanceamento, deslizamento, expansão lateral, escoada ou fluxo e movimentos complexos. Utilizamos como bibliografia de base a classificação dos movimentos de vertente: tipologia, actividade e morfologia proposta por Zêzere (1997), por considerarmos ser um trabalho actual, para síntese desta temática.

O sector Este deste sistema é constituído por metassedimentos, enquanto no sector Oeste dominam os granitóides, o que poderá ser um factor de diferenciação da susceptibilidade, já que a plasticidade dos materiais que deles derivam é diferente. Os mantos de alteração graníticos permitem uma maior circulação hídrica e uma saturação lenta dos materiais. Por outro lado, os materiais derivados dos metassedimentos têm uma maior plasticidade devido à maior presença de materiais argilosos.

A conjugação dos vestígios (mais ou menos conservados) das superfícies de aplanamento, com o vigoroso encaixe da rede hidrográfica, traduz-se pela configuração de vertentes com perfis muito complexos. É frequente a existência de vertentes, em que alternam sectores rectilíneos com outros de aspecto côncavo ou convexo. Uma vez que o encaixe da rede hidrográfica é 'brutal', sobretudo nos rios principais, observam-se com frequência vertentes muito altas com numerosos patamares intermédios, retalhados pela rede hidrográfica de menor ordem.

Esta variedade na morfologia das vertentes repercute-se na complexidade dos processos de infiltração e escoamento. Por essa razão, podemos encontrar, na mesma vertente, sectores muito propícios à infiltração, intercalados com outros que favorecem o escoamento à superfície. Isto conduz à existência de uma hidrologia das vertentes muito complexa, com variações muito fortes na concentração e divergência de drenagem.

Para além da forte densidade da rede de fracturas, o grau de alteração é elevado, sobretudo nos granitóides. Este facto disponibiliza grande quantidade de materiais desagregados, com texturas variáveis, que envolvem núcleos de rocha sã de dimensões diversas. A existência destas formações superficiais em vertentes de declive elevado é um dos elementos mais importantes para a definição da susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente em áreas de montanha. Com efeito, sendo a circulação hídrica no interior dos mantos de alteração, um dos factores mais importantes da saturação dos materiais, a sua espessura condiciona largamente a instabilidade das vertentes.

As serras de Valongo constituem um sistema geomorfológico directamente relacionado com a estrutura geológica. Com uma orientação geral NWSE, desenvolve-se ao longo de dois flancos do anticlinal de Valongo, que mergulha para NW, próximo de Valongo. Constitui no essencial relevos de erosão diferencial resultante da grande dureza dos quartzitos do

Skidaviano (Ordovício) que afloram no seu topo. A rede hidrográfica escavou profundas gargantas nestes materiais aproveitando as linhas de fracturação mais importantes (Rebello, 1975).

A resistência dos quartzitos comparativamente ao complexo xistograuváquico permitiu o desenvolvimento de um forte contraste geomorfológico das serras de Valongo relativamente às áreas envolventes. Os fortes declives e o encaixe da rede hidrográfica são factores importantes no que se refere à evolução actual das vertentes.

Nesta área, os movimentos de vertente são os processos geomorfológicos com maior probabilidade de ocorrência, aproveitando as formações superficiais de fraca consolidação e a fracturação intensa dos afloramentos rochosos de quartzito. Estas serras apresentam um conjunto de factores naturais que propiciam a ocorrência de movimentos de vertente, nomeadamente os abruptos rochosos onde ocorrem desabamentos e depósitos de vertentes de origem solifluxiva que desenvolvem deslizamentos e fluxos de diferentes tipos.

## 2. Superfícies Planas

Nesta área, os vales parecem coalescer, resultando numa ampla superfície, de fundo irregular e de limites difíceis de definir. A ausência de vertentes bem delimitadas e de interflúvios bem desenvolvidos sugere a existência de uma superfície poligénica, resultante da evolução morfológica. O fundo desses vales apresenta uma morfologia irregular, as vertentes são de pequena altura e fraco declive, separando pequenas superfícies semelhantes a retalhos de um nível de erosão degradado.

A transição entre o fundo dos vales de pequeno encaixe e os interflúvios é suave, sendo difícil distinguir, mesmo à escala de 1:25000, os diferentes elementos territoriais que constituem os vales.

Nestas condições, os processos geomorfológicos dominantes estão relacionados com a escorrência superficial. Igualmente importante é a capacidade de infiltração, ajudada pelos declives fracos. Algumas vertentes de pequena dimensão podem desenvolver movimentos de vertentes. Mas face à sua dimensão reduzida, a probabilidade de ocorrência é fraca a moderada. No entanto, apresentam por vezes declives elevados (superiores a 20°) que são condição importante, embora não suficiente, para a ocorrência de movimentos de vertente.

No que se refere às cheias repentinas, a probabilidade de ocorrência é significativa. Em pequenas bacias hidrográficas desenvolvem-se processos de escoamento de resposta rápida, em virtude do encaixe da rede hidrográfica e da sua impermeabilização associada quer à ocupação urbana, quer à existência de solos muito argilosos com forte teor em matéria orgânica e pouco permeáveis ao longo das planícies de inundação.

## 3. Relevo Intermédio

O relevo intermédio corresponde a uma faixa de transição entre o sistema de montanhas, a Este e as superfícies de aplanamento degradadas, a Oeste. Neste sector, o grau de conservação dos interflúvios é superior ao das áreas montanhosas anteriormente descritas e o encaixe da rede hidrográfica, apesar de vigoroso, não é tão forte, embora ainda evidencie declives acentuados.

Nesta área as vertentes complexas começam a ter algum significado comparativamente com a área das superfícies planas e as bacias de 1ª ordem são importantes elementos de convergência de drenagem. Estes factores condicionantes potenciam a ocorrência de

movimentos de vertente. Os flões evidenciam uma intensa argilização, os contactos litológicos e os planos de fracturação aparecem como factores de descontinuidade dos materiais que constituem as vertentes e de concentração da drenagem interna dos materiais das vertentes.

O substrato litológico desta área de relevo intermédio é constituído essencialmente por granitóides. O desenvolvimento dos mantos de alteração nesta litologia depende da densidade de fracturação, o que produz uma grande variedade lateral e em espessura. Estas variações produzem uma grande diversidade de formações superficiais a que se associa a depósitos de vertente, depósitos de preenchimento de fundos de vales e barrancos, cujo comportamento mecânico é muito diversificado.

Sendo uma área de transição apresenta ainda condições estruturais propícias ao desencadeamento de movimentos de vertente, sendo inúmeras as áreas onde há forte probabilidade de ocorrência, associada a uma importante presença humana (Figura 6). Os aterros e desaterros, as drenagens artificiais com graus diversos de conservação e o arranjo das vertentes em patamares são algumas das intervenções que se assumem como factores de explicação de parte considerável da instabilidade de vertentes desta área.

Nos sistemas das Superfícies Planas e no Relevo Intermédio alternam-se vales de fundo plano e vales estreitos com aspecto de garganta. Esta configuração resulta dos diferentes graus de alteração que afectam os vários tipos de rocha, sobretudo os granitóides. Nos sectores de alargamento o perfil longitudinal dos canais de escoamento tem um declive muito fraco enquanto as áreas de vale estreito têm um declive maior, apresentando com frequência, pequenos rápidos ou até pequenas quedas de água.

Nos troços de declive mais forte o fluxo torna-se turbulento, adquirindo uma energia acrescida. Essa energia vai promover o desgaste das margens e do fundo dos canais. Em situações meteorológicas extremas, a dinâmica fluvial exerce uma grande pressão sobre as estruturas construídas (por exemplo: moinhos, pontes e construções junto às margens), que se encontram nos estrangulamentos dos vales e nas áreas de vale amplo a jusante dos referidos estrangulamentos. A alternância de vales amplos e vales estreitos permite que se desenvolvam, respectivamente, sectores de amortecimento e sectores de acréscimo da dinâmica fluvial.

Sempre que se promove a ocupação da planície de inundação das áreas de vale amplo, diminui-se drasticamente as áreas de amortecimento da dinâmica fluvial, onde se faz deposição de grandes quantidades de sedimentos, não permitindo a diminuição da velocidade de escoamento, o que mantém ou agrava a capacidade erosiva dos canais fluviais nos sectores a jusante.

#### 4. Colinas em Xisto

As colinas talhadas em metassedimentos situam-se a Norte e Sudoeste das Serras de Valongo. A sua maior expressão corresponde à área entre a depressão de Valongo/Susão e a depressão de Sobrado. Talhadas em rochas metamórficas, apresentam uma fraca permeabilidade, o que justifica a grande densidade de drenagem. Na impossibilidade de uma fácil infiltração, a precipitação encontra no escoamento superficial uma forma de drenagem rápida até aos canais fluviais das depressões vizinhas.

A disposição destas colinas evidencia uma forte adaptação à fracturação com direcção hercínica, coincidente com a direcção do anticlinal de Valongo. Os cursos de água de primeira ou de segunda ordem desagüam directamente no curso de água principal, o que permite uma

rápida concentração do escoamento no canal principal e uma rápida deslocação das águas.

A constituição litológica destas colinas impede uma fácil infiltração das precipitações, já que as formações superficiais são de textura fina. Porém, o coberto vegetal tem permitido o retardamento do processo de escoamento superficial e a transferência de uma significativa parte da precipitação para o fluxo interno saturado. Quando se retira o coberto vegetal ou se impermeabiliza em contínuo a superfície topográfica, quase todo o processo de escoamento passa a fazer-se à superfície e concentra-se nas linhas de água.

O perfil longitudinal dos cursos de água de primeira e segunda ordem que drenam estas colinas apresenta um declive médio a forte. O contexto geomorfológico destes pequenos vales e barrancos, associado a um comportamento hidrológico esporádico, pode estar associado a uma maior susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente.

Neste contexto geomorfológico, não é de estranhar a possibilidade de ocorrerem movimentos de vertente relacionados com diversos tipos de intervenção humana, designadamente de aterro e desaterro, porque as áreas de transição entre as colinas do complexo xisto-grauváquico e as depressões referidas anteriormente são áreas sensíveis no que se refere a estratégias de ordenamento do território.

## 5. Plataforma Litoral

A Plataforma Litoral corresponde a uma faixa aplanada de largura variável entre 10 a 15 km. Nesta área destacam-se os declives fracos a suaves ( $< 10^\circ$ ), embora se observem algumas diferenciações de relevo que parecem estar relacionadas com actividade tectónica mais recente e que terão contribuído para a elaboração de vários desníveis da superfície topográfica (Araújo, 1991).

No sector sul da plataforma litoral, a acção da tectónica mais recente parece ter contribuído para a elevação do relevo. Por esse facto, na área do Porto é possível encontrar declives mais acentuados passíveis de desenvolver instabilidade de vertentes ao longo do vale do Douro e de alguns dos seus afluentes.

Na transição para o interior do distrito a plataforma litoral é limitada pelo relevo marginal, que, raramente se constitui como área de forte instabilidade de vertentes. Porém, o vale do Douro tem um encaixe importante que constitui um grande contributo para a instabilidade de vertentes.

A Plataforma Litoral é atravessada por três cursos de água principais: o Douro, o Leça e o Ave. Contudo, no essencial, as pequenas bacias hidrográficas que tanto drenam para estes rios como directamente para o mar. Estas bacias hidrográficas têm, em geral, declives extremamente fracos, e frequentemente só apresentam escoamento sazonal ou mesmo esporádico. A transição entre bacias hidrográficas é muito suave sem que se consiga demarcar com nitidez os seus limites.

Mais a sul, junto aos vales do Leça e Douro começam a surgir referências a cheias repentinas. Nestes sectores, o perfil longitudinal das ribeiras apresenta declives superiores, o que acentua os processos de escoamento.

As cheias repentinas têm uma frequência de ocorrência muito baixa. Apesar de estarmos numa área de fracos declives, onde os processos de infiltração poderão desenvolver-se, a forte impermeabilização das áreas urbanas, a canalização das linhas de água de escoamento esporádico e a forte intensidade de alguns episódios chuvosos promovem o desenvolvimento deste tipo de susceptibilidade natural na plataforma litoral. São disso testemunha as



inundações ocorridas na cidade do Porto em Outubro de 2004.

Para além das áreas urbanas, particularmente sensíveis a este tipo de processos, as cheias repentinas também ocorrem em áreas rurais ou periurbanas da plataforma litoral. Estes processos estão relacionados com a capacidade de infiltração e de amortecimento, condicionada pela forte percentagem de argila e matéria orgânica dos solos agrícolas, e da forte intensidade dos episódios chuvosos que as desencadeiam.

Este tipo de instabilidade é muito importante dado que afecta áreas de forte presença humana. Um dos exemplos corresponde à evolução de vertentes que tem ocorrido nos abruptos rochosos na cidade do Porto, sendo de realçar a importante intervenção de estabilização operada num sector reduzido da escarpa dos Guindais. Toda a restante escarpa tem indícios de instabilidade que urge resolver.

Porém, não só nos abruptos rochosos se verifica a instabilidade de vertentes. Também em áreas de granitóides profundamente alterados é possível documentar tal instabilidade. Na margem sul, na rua da Pedreira (Oliveira do Douro) e no Castelo (V.N. de Gaia) há registo de destruições (um armazém das Caves do vinho do Porto e uma moradia) por deslizamentos e desabamentos, respectivamente.

Embora as vertentes do encaixe do Douro na plataforma litoral sejam de pequena dimensão, a combinação de declives elevados com a variação espacial do comportamento mecânico dos materiais resultante, quer da alteração dos granitóides, quer da fracturação intensa, permite a ocorrência de quedas de blocos, desabamentos e de deslizamentos.

A par destes processos, em situações de precipitação prolongada e intensa, as inúmeras estruturas de contenção construídas na margem norte do Douro, nomeadamente na cidade do Porto, apresentam com frequência, manifestações de instabilidade que, pela intensidade de ocupação do solo, se revelam de uma grande importância pois poderão ter consequências graves, à semelhança da margem sul.

## **2. METODOLOGIA**

Com o apoio das ferramentas do Sistema de Informação Geográfica ArcGis 9.1 desenvolvemos uma Base de Dados Geográfica (Geodatabase) (Figura 2) para compilar a informação cartográfica e respectivos atributos relativos a 3 temas principais: a informação histórica das ocorrências de cheias (2002-2003) e movimentos de vertente (1996-2006); os factores condicionantes (geomorfológicos, hidrológicos, litológicos) e os factores desencadeantes (meteorológicos) (Figura 2).

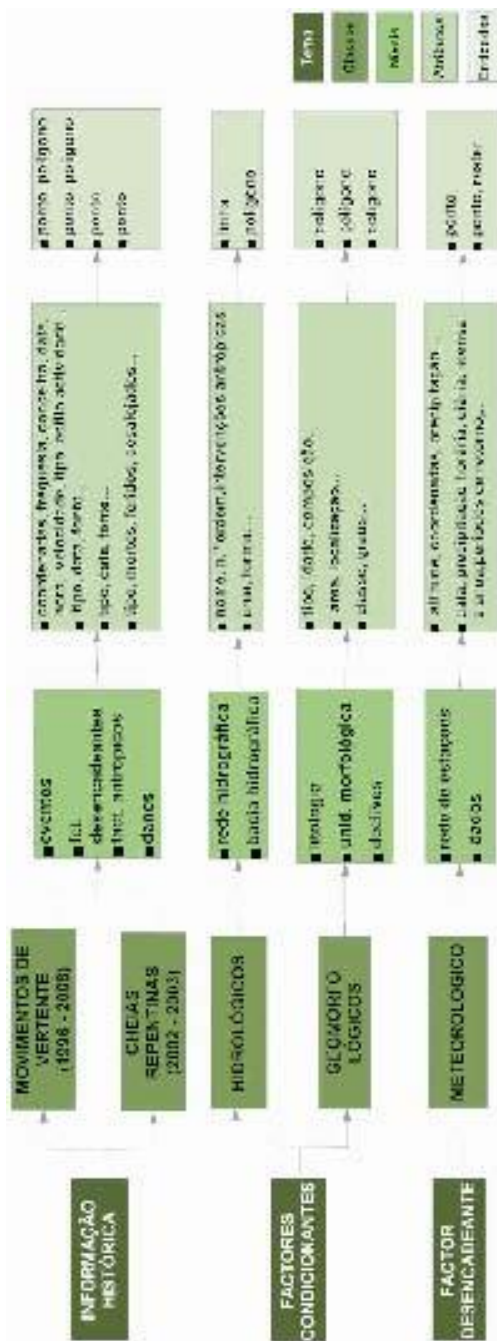
Os registos de ocorrências de cheias rápidas foram obtidos a partir da base de dados do Centro Distrital de Operações e Socorro (CDOS). Estes dados têm uma organização própria que tem sobretudo em conta os meios de socorro e não distinguem claramente as ocorrências de cheias repentinas e inundações de origem técnica ou cheias lentas. Por esse motivo, consideramos apenas os registos relacionados com enxurradas, por induzirem um processo de escoamento mais rápido e de origem natural.

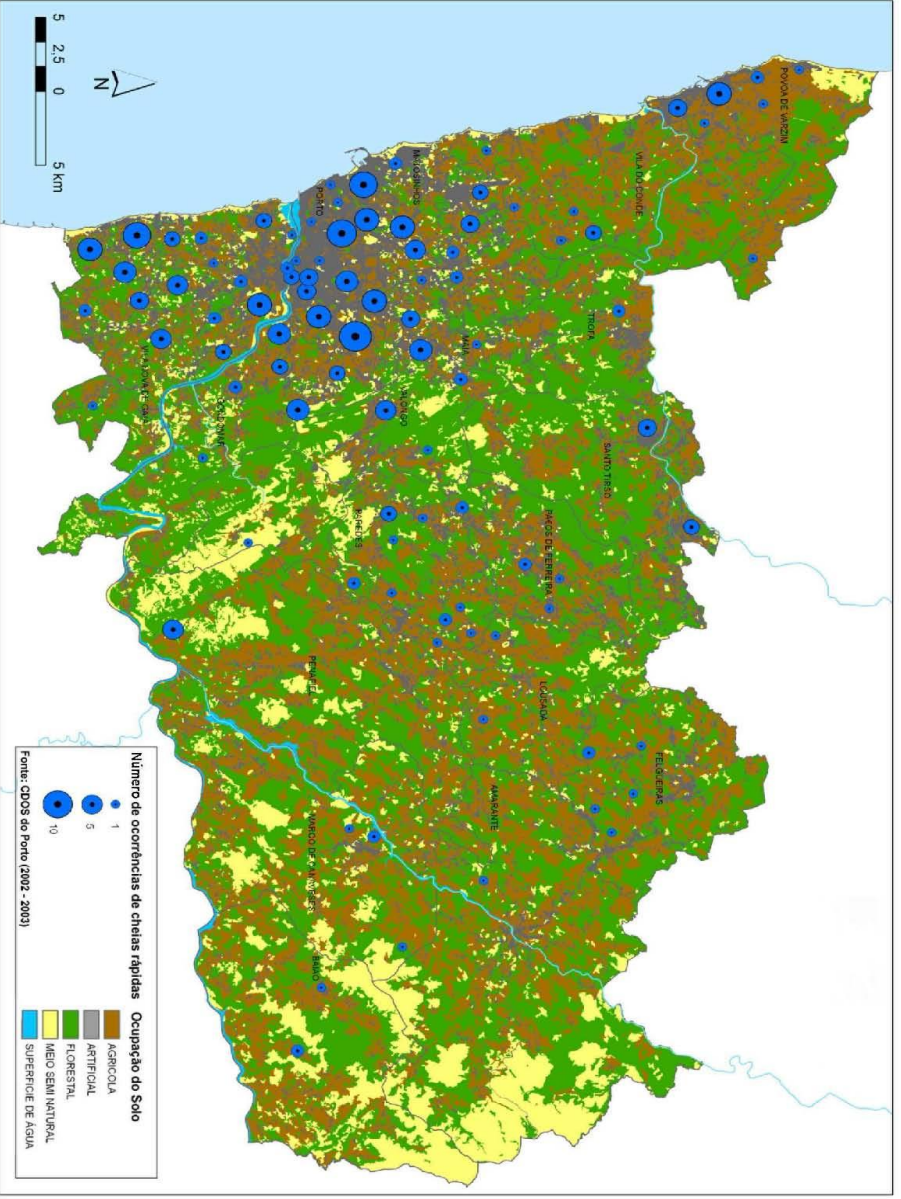
Trataram-se as ocorrências da referida base de dados, entre Janeiro de 2002 e Janeiro de 2004. Constatou-se, um maior número de registos de ocorrências nas áreas urbanas, principalmente na área metropolitana do Porto (Figura 3).

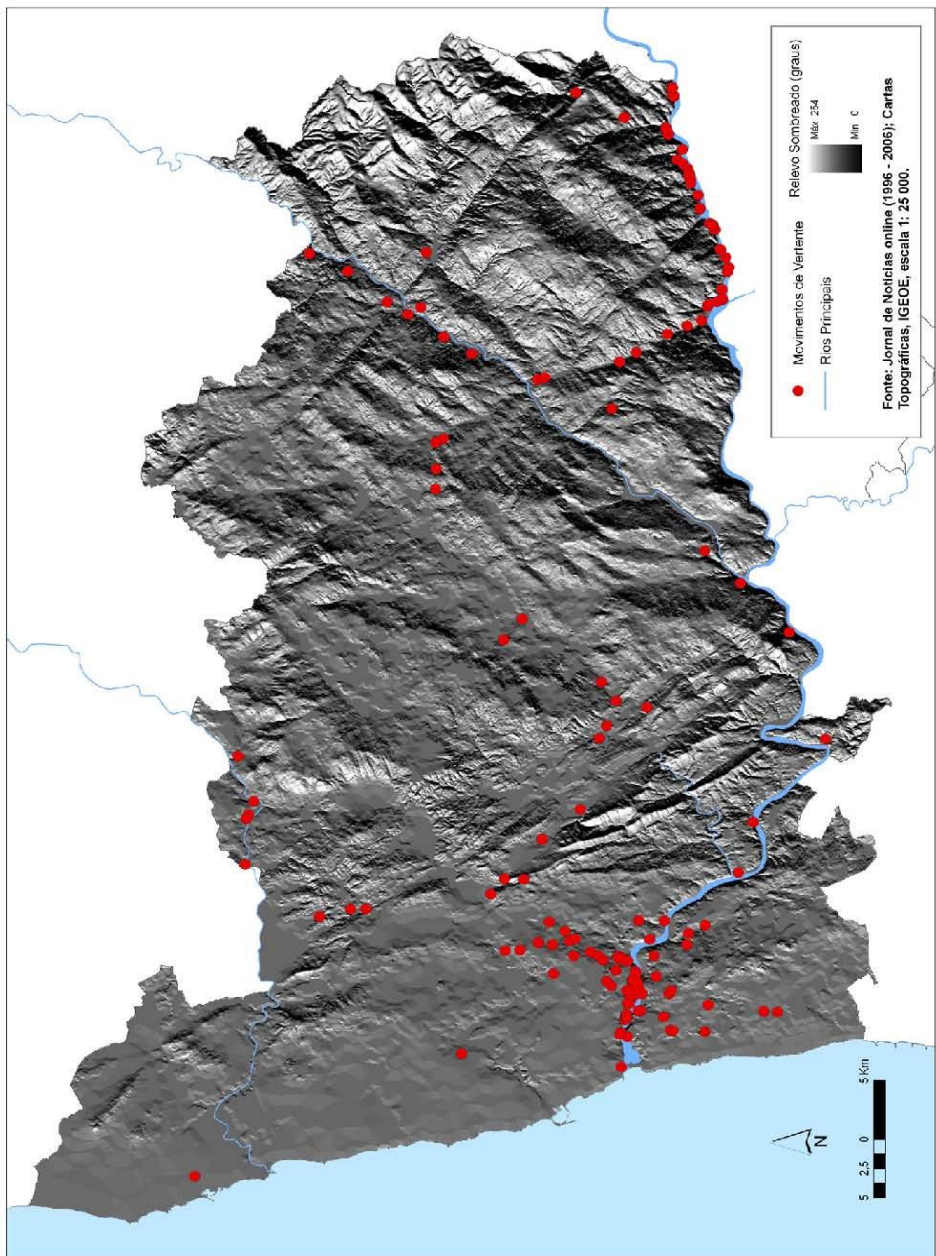
As ocorrências de movimentos de vertente no distrito do Porto foram pesquisadas tendo por base as notícias online do Jornal de Notícias entre 1996 e 2006, onde foram procurados

elementos relativos à sua localização, data de ocorrência, tipo de processo, factor desencadeante, danos materiais e humanos e situações de intervenção antrópica. Apesar do período temporal

Figura 2. Esquema simplificado da Geodatabase







de pesquisa ser curto (10 anos) foram contabilizados 35 casos de movimentos de vertente (Figura 4).

A localização das ocorrências permitiu-nos reflectir sobre os factores condicionantes mais importantes para a ponderação de diferentes graus de susceptibilidade a movimentos de vertente à escala 1: 50 000.

Os seus factores condicionantes das cheias repentinas e dos movimentos de vertente, foram representados cartograficamente em Sistema de Informação Geográfica e, em seguida, normalizados nas extensões 3D Analyst e Spatial Analyst do programa ArcGIS 9.1.

## 2.1. Avaliação da susceptibilidade a movimentos de vertente à escala 1: 50 000

A cartografia da susceptibilidade a movimentos de vertente utiliza a noção de unidades territoriais com dinâmicas geomorfológicas próprias, no sentido de determinar diferentes graus de susceptibilidade natural. Essas unidades territoriais foram ponderadas juntamente com os factores do declive e da litologia.

Os primeiros permitem identificar as formações superficiais mais propícias ao desenvolvimento de instabilidade (diferenciam o conjunto de forças de atrito ao nível das vertentes). Os segundos permitem reconhecer os sectores mais susceptíveis ao desencadeamento de processos de instabilidade (diferenciam graus de importância das forças tangenciais).

A classificação susceptibilidade a movimentos de vertente foi elaborada, tendo em conta a ponderação qualitativa de vários factores (litologia, morfologia e dinâmica geomorfológica), adaptados à escala de trabalho, tendo por base a experiência de trabalho de campo e as ocorrências.

A ponderação de factores a ter em conta na avaliação da susceptibilidade natural a movimentos de vertente deu uma maior importância qualitativa aos factores naturais condicionantes: a morfologia (declives e unidades morfológicas) e a litologia. Utilizando a extensão do Spatial Analyst do ArcGis 9.1 e a opção de cálculo matricial (Raster Calculator) para o cálculo da susceptibilidade natural a movimentos de vertente, definindo-se quatro classes: reduzida a nula, média, elevada e muito elevada. O limite entre as classes foi estabelecido tendo em conta a localização de ocorrências anteriores e a experiência de conhecimento da dinâmica geomorfológica desta área. O resultado final foi calibrado através de trabalhos de campo e das ocorrências de movimentos de vertente recolhidas entre 1996 e 2006 (Figura 5).

A classe de susceptibilidade muito elevada identifica os sectores com declives superiores a 25° e talhados em metassedimentos. Na passagem para a susceptibilidade elevada muda apenas a litologia para granitóides. A classe de susceptibilidade média é diferenciada essencialmente pelas classes de declives intermédios (15° a 25°). Todas as áreas que não se enquadram nas anteriores classes de susceptibilidade, reúnem reduzidas ou nulas condições ao desenvolvimento de movimentos de vertente.

## 2.2. Avaliação da susceptibilidade a cheias repentinas à escala 1: 50 000

Através da cartografia de base do Distrito do Porto à escala 1:50 000 e da identificação das suas unidades morfológicas principais, procedeu-se à utilização de cartografia temática necessária ao estudo do fenómeno das cheias repentinas: carta hipsométrica, carta de declives, carta geológica e carta da rede hidrográfica.

Foram utilizados dados de precipitação das estações meteorológicas localizadas no distrito do Porto, com séries de registos com um mínimo de 30 anos. Foram calculados os respectivos períodos de retorno para 100 anos da precipitação máxima diária, segundo a lei de Gumbel, cuja referência é utilizada para o dimensionamento de obras de hidráulica.

A intensidade da precipitação é o principal factor desencadeante das cheias repentinas, no entanto, utilizou-se a precipitação máxima diária porque não existem dados de precipitação horária disponíveis para longos períodos temporais. Em seguida, foram também ponderados

os factores condicionantes naturais que assumem uma maior importância na distribuição espacial das cheias repentinas:

- declives (rupturas de declive, vales muito encaixados);
- litologia ;

– elementos morfológicos (meandros, encaixe da rede hidrográfica, densidade de rede de drenagem, estrangulamentos naturais, dimensão da bacia hidrográfica).

A informação relativa aos elementos morfológicos dos canais de escoamento foi desenhada com base nas cartas topográficas à escala 1: 25 000, a partir de uma interpretação das formas de relevo.

A ponderação de cada factor tendo em conta na susceptibilidade natural a cheias repentinas deu uma maior importância qualitativa à morfologia e litologia (factores condicionantes) e ao factor desencadeante (a precipitação). Utilizando a extensão do Spatial Analyst e a opção do Raster Calculator do ArcGis 9.1 calculou-se a susceptibilidade natural a cheias repentinas, definindo-se 3 classes qualitativas: fraca, média, forte e muito forte. O limite entre as classes foi estabelecido tendo em conta áreas-amostra (Silva Escura, Oliveira do Douro e Irivo onde se registaram ocorrências anteriores, que estavam documentadas).

A grande impermeabilidade dos metassedimentos permite diferenciar em muito forte susceptibilidade as áreas que do ponto de vista geomorfológico têm forte apetência ao desenvolvimento de cheias repentinas.

Os mapas finais foram calibrados e validados através de trabalhos de campo e do registo de ocorrências de cheias do CDOS do Porto para os anos de 2002 e 2003 (Figura 6).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. Movimentos de vertente**

A maior susceptibilidade a movimentos de vertente observa-se nas áreas montanhosas e de relevo intermédio a Este do Distrito, ao longo do Vale do Douro, nas Serras de Valongo e Colinas de Xisto (Figura 5).

A susceptibilidade muito elevada encontra-se principalmente nas unidades das vertentes nas Montanhas, encaixe da rede hidrográfica principal (Vale do Douro), nas vertentes da Serra de Valongo e do Relevo Intermédio, no Relevo Marginal e nas vertentes das Colinas que possuem declives superiores a 25º e metassedimentos. A susceptibilidade elevada situa-se nas mesmas unidades morfológicas, mas com granitóides.

De uma forma geral, embora o sistema de montanha apresente uma maior susceptibilidade para desenvolver movimentos de vertente, a fraca densidade da ocupação humana não permite que muitos desses processos sejam do conhecimento do grande público já que, em geral, não têm consequências sobre os bens, serviços e populações. Por esse motivo, o maior número de ocorrências de movimentos de vertente encontradas em periódicos localizase ao longo do Vale do Douro e do Tâmega, próximo das linhas de caminhode-ferro, estradas nacionais e áreas mais povoadas (Figura 6).

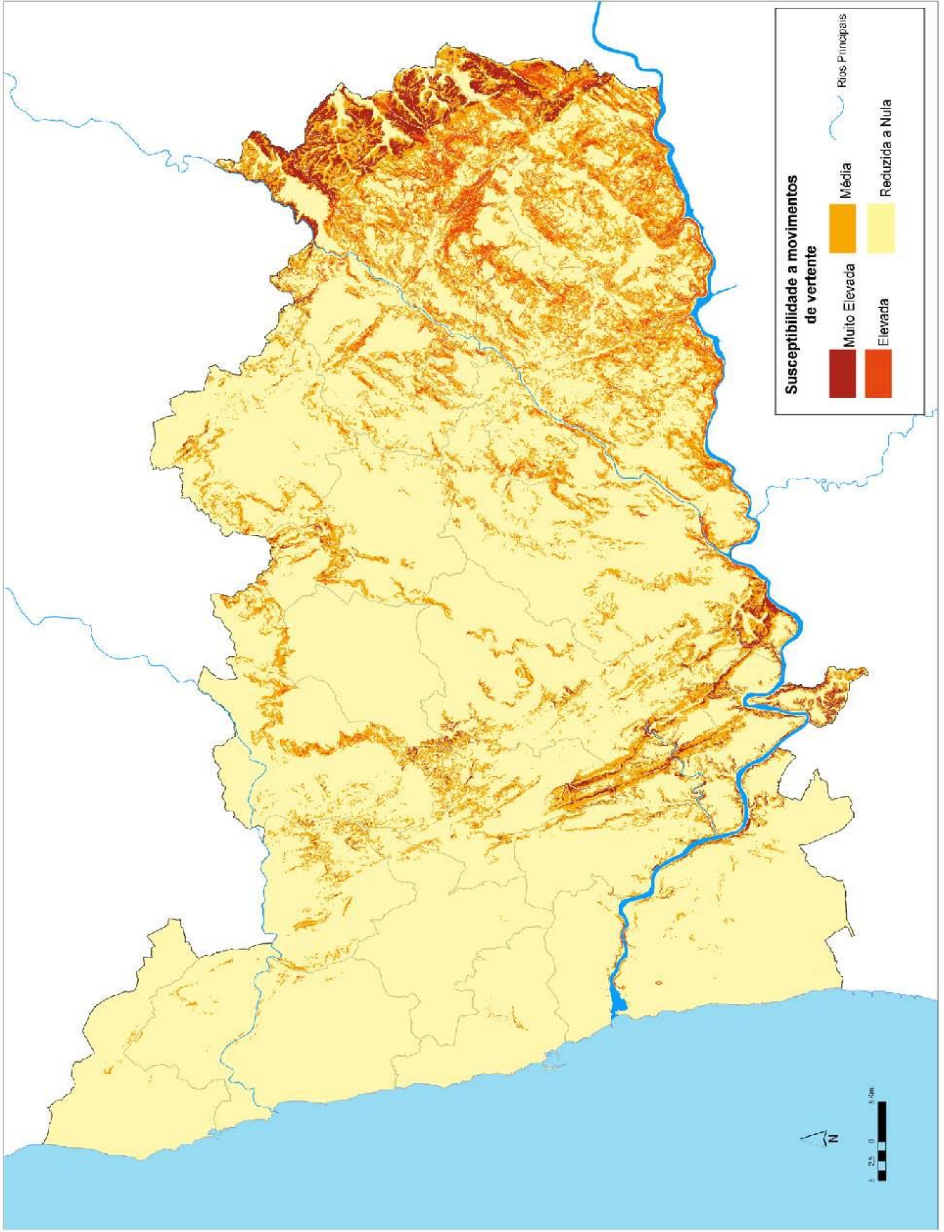
Em ambas as áreas de elevada e muito elevada susceptibilidade há a necessidade de estudar a vulnerabilidade territorial no sentido de potenciar uma maior eficácia da acção da

protecção civil. Nestes sectores há que desenvolver estudos de pormenor no sentido de prevenir potenciais danos em bens, funcionalidades ou populações.

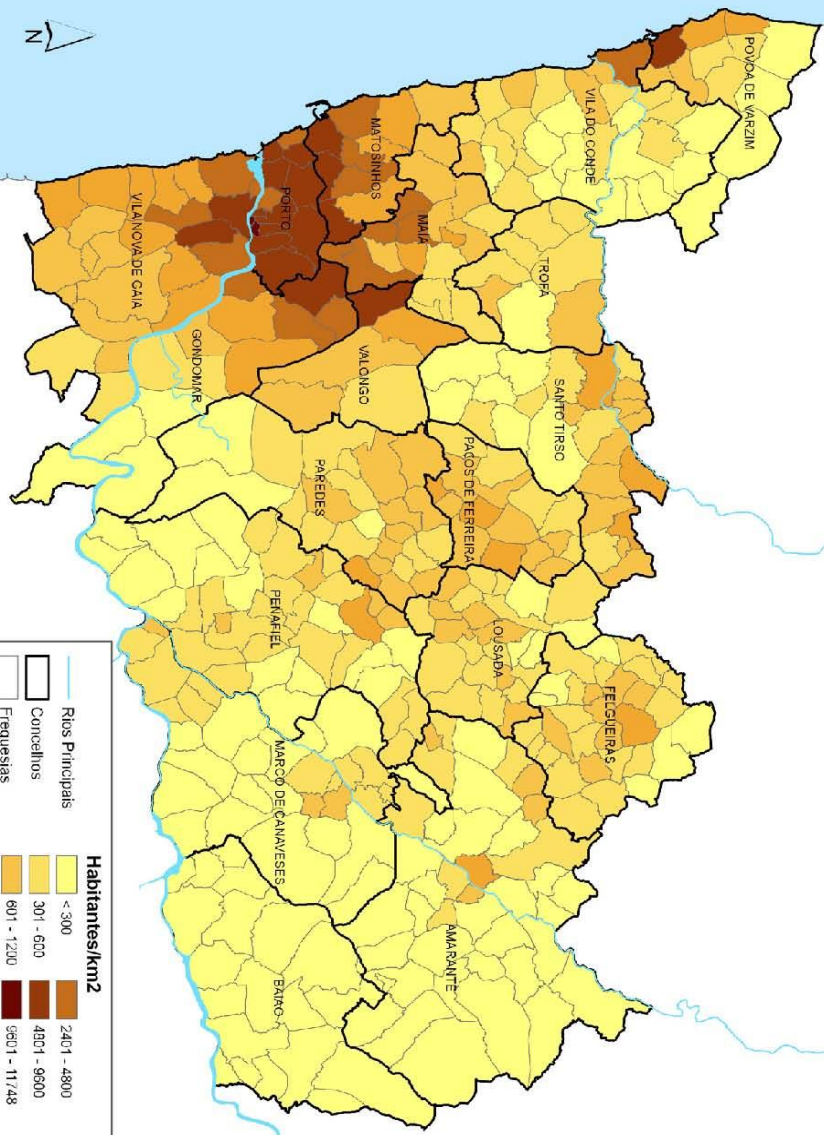
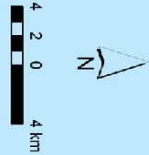
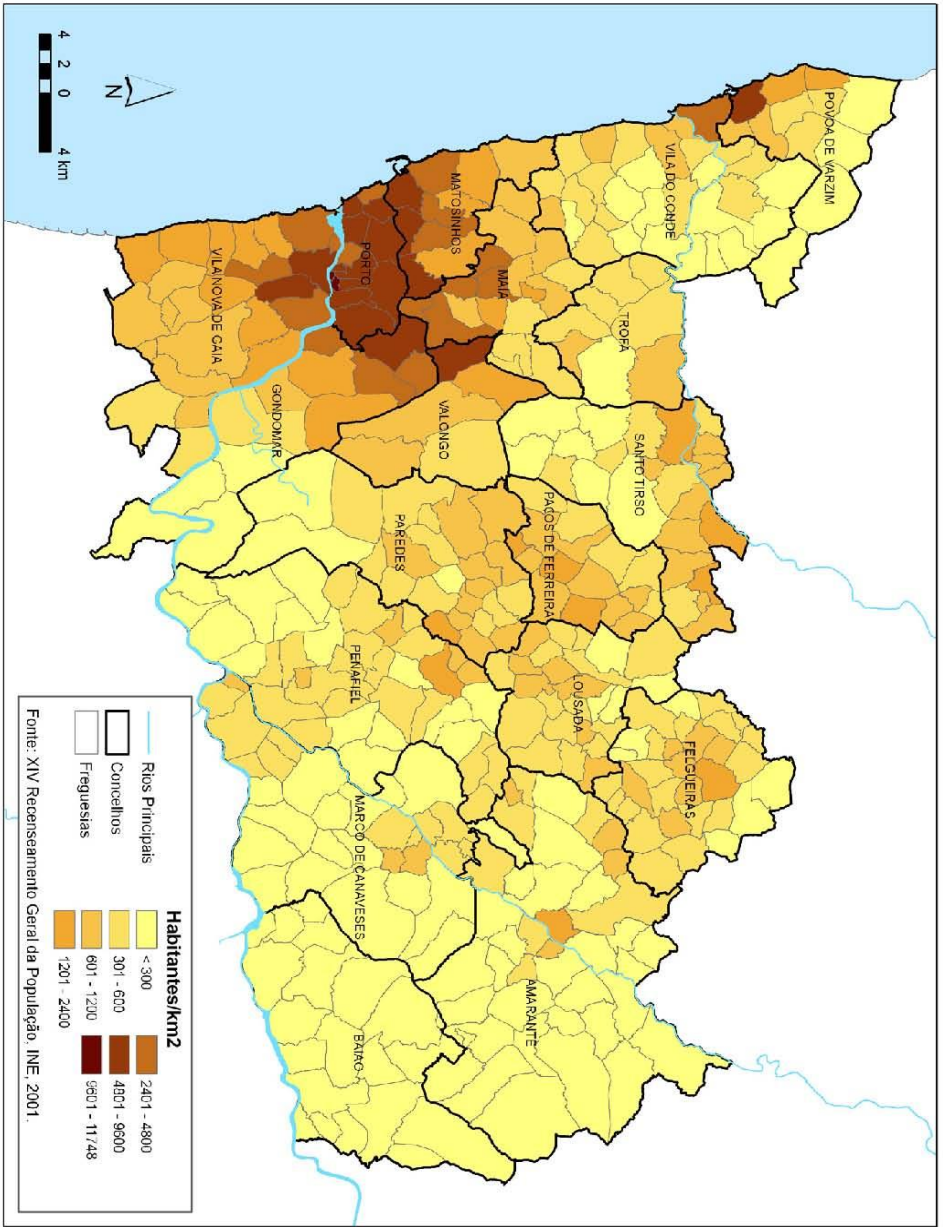
Na Serra de Valongo, por exemplo, todas as intervenções programadas nesta unidade geomorfológica devem ser objecto de apreciação cuidada do ponto de vista da estabilidade das vertentes e exigem projectos de engenharia e procedimentos técnicos devidamente ajustados a estas condições. Refere-se o exemplo dos taludes da Auto-estrada A4 no Alto da Serra cuja manutenção e estabilização, ainda não totalmente conseguida, exigiram obras suplementares. Tanto as intervenções particulares como públicas poderão agravar significativamente a ocorrência de movimentos de vertente.

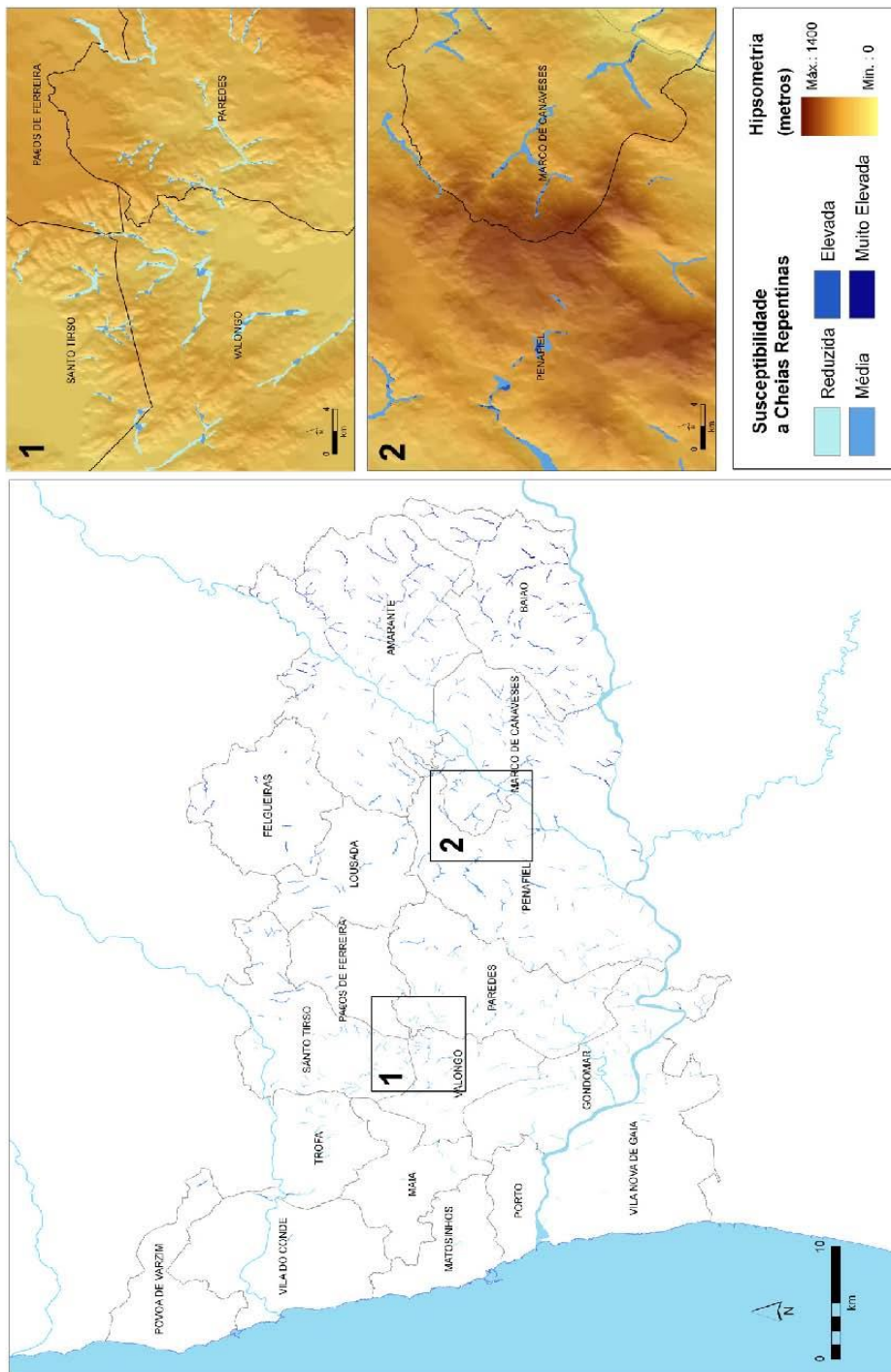
A média susceptibilidade encontra-se em áreas de declives intermédios (15o a 25o), que simultaneamente coincidem com as unidades morfológicas das vertentes, encaixe da rede hidrográfica principal, encaixe da rede hidrográfica secundária com declives de 10o a 15o, vertentes da Serra de Valongo, Relevo Marginal e vertentes das Colinas.

Embora a cartografia, nos indique que a abrangência da susceptibilidade









seja menor nas áreas de relevo intermédio, a maior presença humana e das actividades transforma este sistema num dos mais sensíveis ao risco natural. Nesse sentido é prioritário, nesta área, um estudo da vulnerabilidade territorial no sentido de definir com rigor o risco natural presente. A interacção entre a dinâmica natural e a acção humana torna-se importante

podendo, em inúmeras situações, constituir uma associação de factores potencialmente desencadeares de processos conducentes à instabilidade de vertentes.

Nestes sectores de susceptibilidade média é essencial o desenvolvimento da análise detalhada das várias circunstâncias de ocorrência de processos naturais para que seja possível fazer detalhadamente a distinção entre áreas passíveis de ocupação humana, áreas utilizáveis mas com recurso a medidas de prevenção ou mesmo as áreas onde essa ocupação é de todo desaconselhável.

Nas áreas de fraca susceptibilidade há que prevenir situações de risco, caso se desenvolvam empreendimentos de grande envergadura capazes de promover grande mobilização de materiais e abertura de taludes artificiais de grande dimensão.

De forma geral, podemos considerar que a plataforma litoral tem uma fraca susceptibilidade natural a movimentos de vertente. Contudo, perante intervenções antrópicas de grande dimensão poderá ver alterado o quadro de estabilidade natural. A construção das grandes vias de comunicação, impondo grande movimentação de materiais e a construção de taludes artificiais que, dependendo dos materiais afectados, poderão ser reactivados em episódios chuvosos de grande duração e intensidade.

### 3.2. Cheias Repentinas

Constatou-se logo à partida um maior registo de ocorrências nas áreas urbanas, principalmente na área metropolitana do Porto, o que contraria os resultados da cartografia da susceptibilidade a cheias repentinas baseada apenas em factores naturais (Figura 7).

Esta situação tem duas justificações possíveis:

– a base de dados do Centro Distrital de Operações e Socorro (CDOS) tem registos de ocorrências que causaram estragos materiais, provocaram feridos ou mortos e/ou perturbações na circulação de pessoas e veículos, implicando a mobilização dos agentes da Protecção Civil. Podem ocorrer cheias repentinas em áreas rurais, mas como não causam estragos de grande importância e muitas vezes nem são observadas pela população, acabam por não ser alvo de registo.

– por outro lado, nas áreas urbanas, apesar dos factores naturais condicionantes das cheias repentinas indicarem uma fraca a média susceptibilidade, a existência de construções responsáveis pela obstrução da drenagem dos cursos de água, nomeadamente

sectores murados, canalizados e a impermeabilização das bacias hidrográficas, contribuem para o aumento da susceptibilidade a cheias repentinas.

Na área da plataforma litoral, à escala 1: 50 000 não se identificam sectores importantes de susceptibilidade natural ao desenvolvimento de cheias repentinas, no entanto, os registos de ocorrências referem o contrário, como por exemplo a cheia repentina ocorrida em Silva Escura (Maia) onde faleceu uma pessoa em Outubro de 2004. Estes sectores onde a intervenção antrópica é determinante na alteração da dinâmica natural de escoamento só são visíveis a uma grande escala.

A maior susceptibilidade natural a cheias repentinas situa-se nos sistemas de montanha e relevo intermédio onde prevalecem os factores naturais. A torrencialidade é uma das características mais importantes das cheias repentinas. Contudo, nem sempre é clara a distinção entre escoamento torrencial e os fluxos (de lama ou detritos).

Durante estes processos, o conjunto de materiais movimentados percorre os cursos de água, alimentando o respectivo escoamento torrencial em carga sedimentar. São processos que poderão ser classificados entre os fluxos (movimentos de vertente) e o escoamento fluvial. Dada esta aproximação a dinâmicas naturais de transição, é compreensível que seja ao nível das áreas de transição (Relevo Intermédio, Superfícies Planas e Colinas em Xisto) que a susceptibilidade seja mais significativa.

Por outro lado, a impermeabilização do canal de escoamento de várias linhas de água na Serra de Valongo constitui factor de risco de cheia rápida dado que promove a concentração instantânea dos processos de escoamento na base das vertentes que estão urbanizadas junto a Valongo.

Nas áreas de colinas de xisto, os alargamentos dos valeiros junto das depressões deverão ser objecto de análise detalhada e a definição de áreas de construção deve ser objecto de apreciação de pormenor, uma vez que existem casos em que alguns metros de distância em relação à linha de água definem vulnerabilidades territoriais diversas.

#### **4. CONCLUSÃO**

A cartografia apresentada tem uma aplicação limitada à identificação, no distrito do Porto, de grandes sectores com diferentes graus de susceptibilidade e organização de políticas de gestão de recursos e intervenções da Protecção Civil.

Não se poderá exigir desta cartografia a capacidade de análise ao pormenor. Contudo, dá indicações importantes quanto às áreas onde devem ser concentrados esforços de análise detalhada da dinâmica do meio físico com potenciais implicações nas actividades humanas.

Essa análise detalhada à escala do município (1: 10 000) permite a identificação de sectores mais estáveis no que concerne à dinâmica natural e que podem ser aproveitados a expansão urbana. As áreas construídas em sectores de risco podem ser reordenadas para a diminuição do impacto dos riscos naturais e/ou abandonadas quando não houver uma solução técnica que garanta a segurança das populações e das actividades económicas.

Relativamente às cheias repentinas deverá ter-se especial atenção às áreas urbanas em expansão, pequenas bacias hidrográficas com forte impermeabilização de solos, o forte encaixe da rede hidrográfica com estrangulamentos e/ou alterações significativas da morfologia do canal de escoamento, meandros e rupturas de declive perante condições extremas de intensidade de precipitação.

No que diz respeito aos movimentos de vertente importa proteger locais onde existam vertentes complexas e de forte declive com mantos de alteração ou rochas fracturadas, abruptos rochosos, sobretudo em áreas urbanas em expansão e sectores com taludes artificiais.

No futuro, torna-se essencial:

- completar as bases de dados, através de pesquisa e georreferenciação de ocorrências para um período temporal mais alargado;

- realizar cartografia de susceptibilidade e de riscos naturais a uma escala de pormenor, prioritariamente nas áreas urbanas, de modo a constituir uma base de trabalho da Protecção Civil Distrital e Municipal e um auxiliar para o ordenamento do território a várias escalas de intervenção;

- incorporar cartografia de riscos naturais de cada concelho nos Planos Municipais de Emergência.

Neste contexto, os Sistemas de Informação Geográfica constituem uma ferramenta de trabalho para a previsão espacial e temporal das áreas potencialmente afectadas por processos naturais, permitindo identificar áreas prioritárias na análise de detalhe dos riscos naturais na sua prevenção e mitigação.

#### BIBLIOGRAFIA:

- ARAÚJO, M.A. (1991) – Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto, Dissertação de doutoramento apresentada à Faculdade de Letras da U. P., Porto, 534pp (policopiado).
- BATEIRA, Carlos (2001) – Movimentos de vertente no NW de Portugal, susceptibilidade geomorfológica e sistemas de informação geográfica, Dissertação de doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da U.P., Porto, 447pp (policopiado).
- CARRARA, A.; Crosta, G. Frattini, P. (2003) -Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28: 1125-1142.
- COOK, R .U. e Doornkamp, J .C. (1990) – *Geomorphology in environmental management. An introduction.* Clarendon Press, 2<sup>a</sup>
- GUZZETTI, F.; Stark, C.P., Salvati, P. (2005) -Evaluation of Flood and Landslide Risk to the Population of Italy. *Environmental Management*, 36, n.º1, 15-36.
- LONGLEY, P.A., Goodchild, M., Maguire, D., Rhind, D. (editores) (2005) – *Geographic Information Systems and Science*, John Wiley and Sons, Ltd, 2nd Edition.
- MAGUIRE, David; Goodchild, Michael; Rhind, David (editores) (1991) – *Geographical Information Systems*, vol. 1: Principles, Longman Scientific & Technical, Inglaterra, 649 pp.
- MITCHEL, C. (1991) -*Terrain Evaluation*, Longman Scientific & Technical, New York.
- PARK, S. J. & Van de Giesen, N. (2004) -Soil landscape delineation to define spatial sampling domains for hillslope hydrology. *Journal of Hydrology*, 295, 28 – 46.
- PEREIRA et al (1992) – Notícia explicativa da folha 1 da Carta Geológica de Portugal à escala 1: 200 000, Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, 83p.
- REBELO, F. (1975) – Serras de Valongo. Estudo de Geomorfologia. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física, apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. Suplementos de Biblos n ° 9, Coimbra, 194 pp.
- RIBEIRO, A. (1988) – “A tectónica alpina em Portugal”, Lisboa, Geonovas, nº10, pp.9-11.
- ZÊZERE, José Luís – Movimentos de vertente e perigosidade geomorfológica na região a norte de Lisboa; Dissertação de doutoramento em Geografia Física, apresentada à Faculdade de Letras da U. L., 1997, 575 pp.