

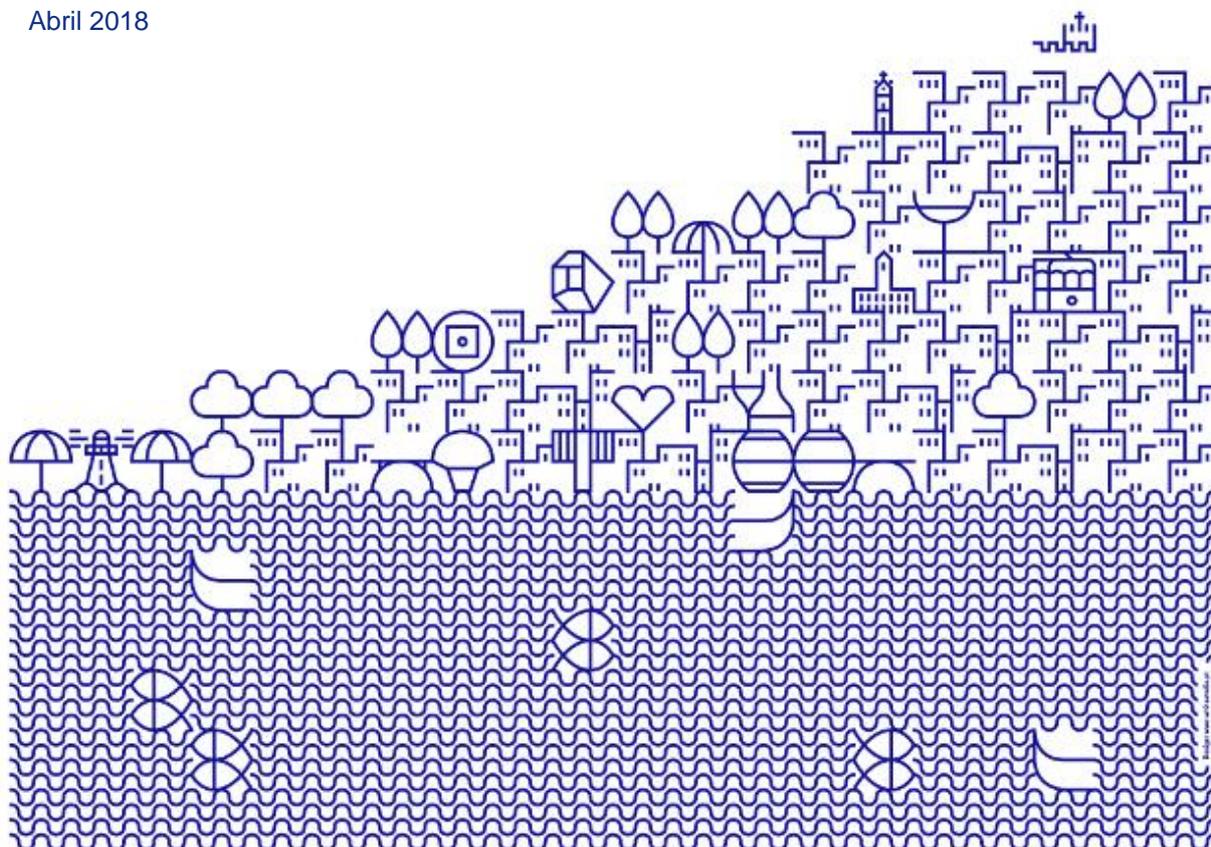


# Suporte Biofísico e Ambiente

## Caraterização Biofísica

Relatório de Caraterização e Diagnóstico

Abril 2018



## Índice

1. Introdução .....	5
2. Fisiografia .....	5
1.1. Hipsometria .....	6
1.2. Declives e exposições .....	7
1.3. Morfologia .....	9
1.4. Síntese fisiográfica.....	10
3. Geologia e geomorfologia .....	11
3.1. Litologia e unidades geotécnicas .....	11
3.2. Geomorfologia .....	15
3.3. Potencial de permeabilidade .....	17
3.4. Condicionantes geotécnicas.....	18
3.5. Áreas críticas a processos de instabilidade de vertentes.....	20
4. Hidrografia e Inundações .....	22
4.1. Bacias hidrográficas.....	23
4.2. Inundações urbanas .....	24
4.3. Inundações .....	26
5. Sistema Húmido .....	28
6. Conclusões .....	30
7. Indicadores de Monitorização.....	31
8. Referências Bibliográficas .....	34

## Índice Figuras

Figura 1 – Hipsometria no concelho do Porto.....	6
Figura 2 – Declives (°) no concelho do Porto.....	8
Figura 3 – Exposição de vertentes no concelho do Porto.....	9
Figura 4 – Morfologia no concelho do Porto.....	10
Figura 5 – Síntese fisiográfica.....	11
Figura 6 – Litologia no concelho do Porto.....	12
Figura 7 – Unidades Geotécnicas no concelho do Porto.....	14
Figura 8 – Carta Geomorfológica do concelho do Porto.....	17
Figura 9 – Potencial de Permeabilidade.....	18
Figura 10 – Condicionantes geotécnicas.....	19
Figura 11 – Zonas de taludes ou escarpas, instáveis ou potencialmente instáveis, no concelho do Porto.....	21
Figura 12 – Rede hidrográfica e bacias hidrográficas no concelho do Porto.....	24
Figura 13 – Ocorrência de inundações urbanas, entre 1974 e 2014.....	25
Figura 14 – Cotas de máxima cheia no concelho do Porto.....	26
Figura 15 – Ocorrências de galgamento oceânicos, entre 1958 e 2006.....	28
Figura 16 – Sistema Húmido no concelho do Porto.....	29



## Índice Gráficos

Gráfico 1 - Frequência relativa (%) das classes altimétricas do concelho do Porto.....	6
Gráfico 2 – Frequência relativa (%) dos declives (°) do concelho do Porto. ....	7
Gráfico 3 – Frequência relativa (%) da exposição de vertentes do concelho do Porto. ....	8



## Índice Quadros

Quadro 1- Unidades geotécnicas consideradas .....	13
---	----

## 1. Introdução

Neste trabalho, procura-se caracterizar o suporte biofísico no concelho do Porto, de modo a identificar os elementos físicos que constituem potencialidades/condicionantes ao planeamento e ordenamento do território. Entre os vários fins da política pública de solos, de ordenamento do território e de urbanismo (Lei 31/2014 de 30 de Maio) destacamos os seguintes: garantir um desenvolvimento sustentável, aumentar a resiliência do território aos efeitos decorrentes de fenómenos climáticos extremos, combater os efeitos da erosão, evitar a contaminação do solo, assegurar o aproveitamento racional e eficiente do solo, prevenir riscos coletivos e reduzir os seus efeitos nas pessoas e bens e salvaguardar e valorizar a orla costeira, as margens dos rios e as albufeiras. Como tal, a caracterização do suporte biofísico está dividida em quatro componentes: fisiografia, geologia e geomorfologia, hidrografia e sistema húmido. No final apresenta-se os indicadores mais importantes de monitorização do território.

A caracterização do suporte biofísico foi elaborada a partir da construção de um projeto em Sistema de Informação Geográfica (SIG), com base na informação disponibilizada pela Câmara Municipal do Porto (CMP).

## 2. Fisiografia

Com um quadro estrutural complexo, dada a sua localização, numa faixa de contacto entre a Zona Centro Ibérica (ZCI) e a Zona de Ossa-Morena (ZOM), o Porto é constituído por granitos associados a um estreito cinturão de rochas metassedimentares e diferentes tipos de gneisses e anfibólitos. Alguns depósitos continentais, fluviais e marinhos sobrepõem-se a estes afloramentos, refletindo uma evolução (neo) tectónica e paleoclimática, que marca o contexto geomorfológico do Porto. As escarpas íngremes do rio Douro, que conduzem a movimentos de vertente, as suas grandes inundações ou os problemas de galgamentos ligados à dinâmica oceânica, expressam várias características importantes para a gestão do território atual (Soares & Bateira, 2017).

As atividades relacionadas com o ordenamento do território a nível municipal exigem o conhecimento das dinâmicas naturais que aí se apresentam, sendo um fator essencial na determinação de aptidões, capacidades e potencialidades do território. Uma parte significativa das componentes que permitiram a caracterização fisiográfica foi baseada num Modelo Digital de Elevação (MDE), construído a partir da informação altimétrica disponível na CMP. Com base nesse modelo gerou-se as cartas hipsométrica, declives, exposições e morfológica.

## 1.1. Hipsometria

Para a caracterização da hipsometria, o MDE foi hierarquizado nas seguintes classes: 0-30m; 31-60m, 61-90m, 91-120 m, 121-150m e >151m. Da análise deste mapa (Figura 1 e Peça Gráfica 01) constata-se que o território se desenvolve entre as cotas 0 e 159 m, que se atinge no Monte Aventino, pelo que não existe uma grande diversidade altimétrica. O Porto é dominado por áreas com altitude inferior a 90m (Gráfico 1).

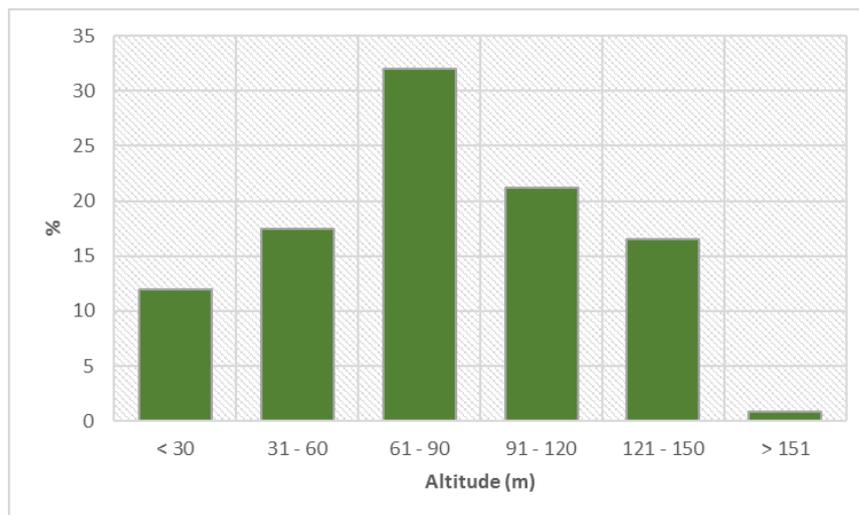


Gráfico 1 - Frequência relativa (%) das classes altimétricas do concelho do Porto.

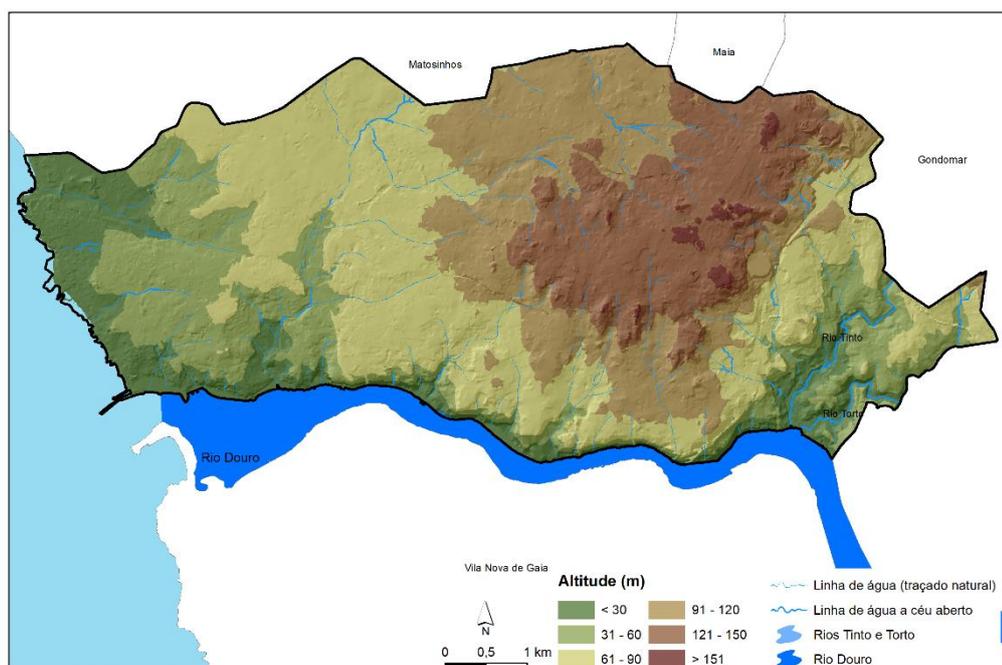


Figura 1 – Hipsometria no concelho do Porto.

De uma forma geral, o território, desce suavemente para W, em direção ao mar, com um forte encaixe, a Sul, do vale do Rio Douro e seus afluentes, com destaque para os rios Tinto e Torto. Sendo uma forma marcante da cidade, o Douro define um vale encaixado e profundo com vertentes íngremes e altas (CMP, 2003). Sendo a maior bacia hidrográfica da Península Ibérica, a bacia do rio Douro, apresenta a parte vestibular em vale encaixado, especialmente na margem setentrional, ao longo da área ribeirinha do Porto, em contraste evidente com a disposição morfológica vestibular das grandes bacias hidrográficas peninsulares. Esta morfologia confere à cidade do Porto, especialmente junto ao rio Douro, características morfológicas peculiares e bem identificadas ao longo do centro histórico.

## 1.2. Declives e exposições

A partir do MDE, geraram-se os declives (Figura 2 e Peça Gráfica 02) e as exposições (Figura 3 e Peça Gráfica 03) do concelho do Porto. Para a carta de declives foram utilizadas as seguintes classes: inferior a 5°; 6°-10°; 11°-20°, 21°-40° e superior a 41°. De um modo geral, o declive médio situa-se em 5,5°, sendo que mais de 65% do concelho localiza-se em declives inferiores a 5° (Gráfico 2). Da análise da carta, verifica-se que as áreas com maior declive se encontram maioritariamente nas vertentes sobranceiras ao vale do rio Douro (0,3% do território) (Figura 2 e Peça Gráfica 02).

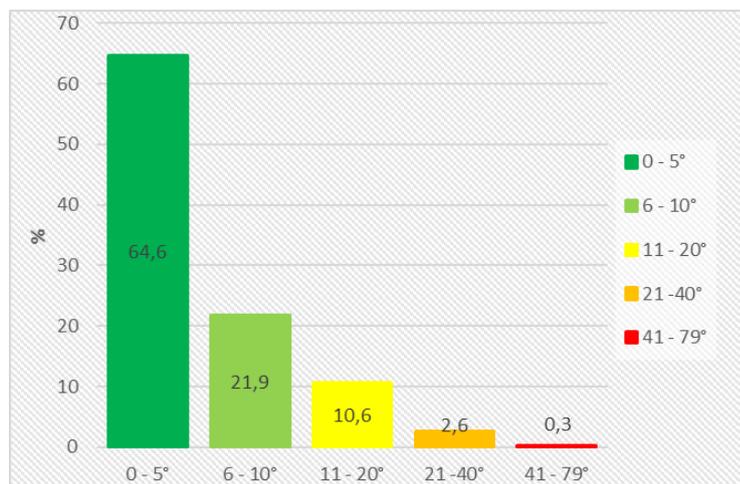
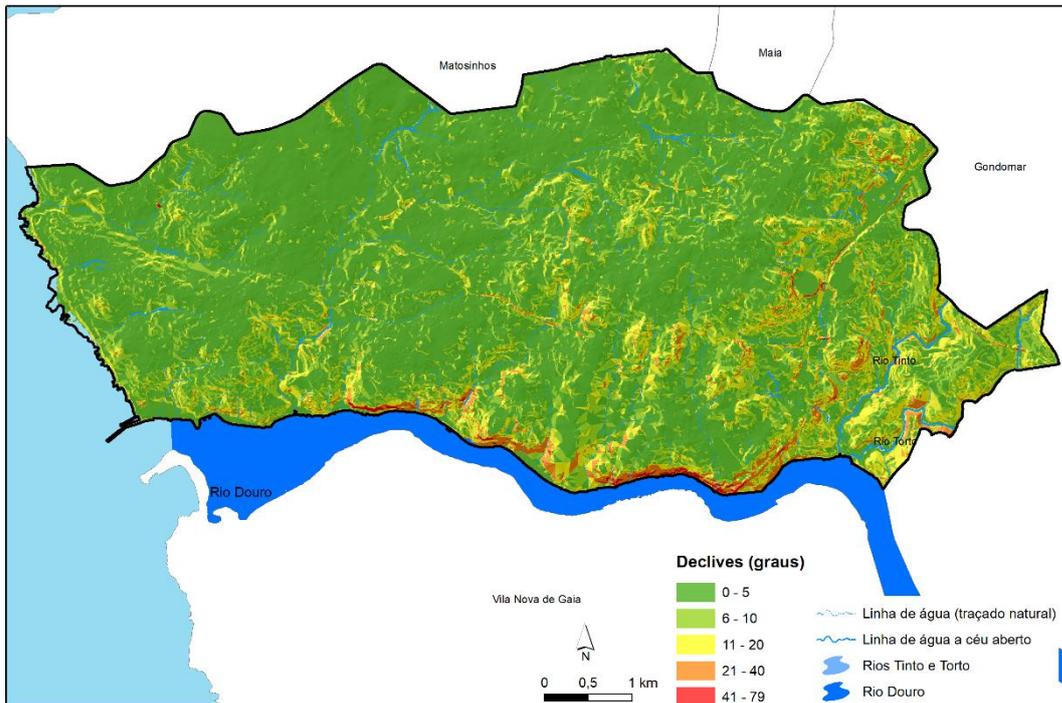


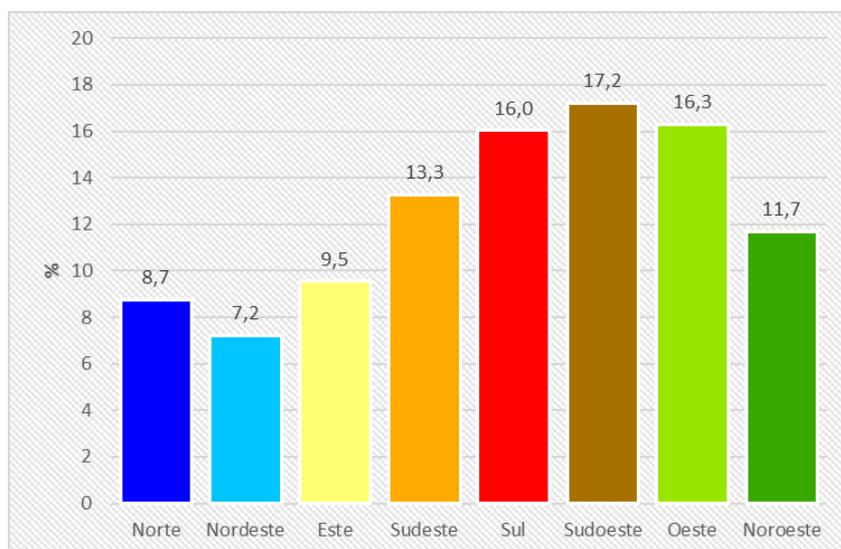
Gráfico 2 – Frequência relativa (%) dos declives (°) do concelho do Porto.

A exposição das vertentes determina fatores de conforto, nomeadamente a qualidade e quantidade de incidência de luz solar e aptidões ao uso do solo. A carta de exposição foi elaborada considerando 9 classes de exposições dominantes: sem exposição definida, norte, nordeste, este, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste. As exposições norte e nordeste são as que estão menos representadas, enquanto as exposições sul, sudoeste e oeste, são as

mais patenteadas (46,5% da área do concelho) (Gráfico 3), embora localmente há modificações produzidas por elevações de pequena dimensão que condicionam a orientação solar. Verifica-se que a sul do concelho, as vertentes se encontram expostas maioritariamente a sul, sudeste e sudoeste. À medida que caminhamos para norte, começa a dominar a exposição norte, nordeste e noroeste. Nos quadrantes a poente têm preponderância de orientações sudoeste e nos quadrantes a nascente imperam as orientações, este e sudeste (Figura 3 e Peça Gráfica 03).



**Figura 2 – Declives (°) no concelho do Porto.**



**Gráfico 3 – Frequência relativa (%) da exposição de vertentes do concelho do Porto.**

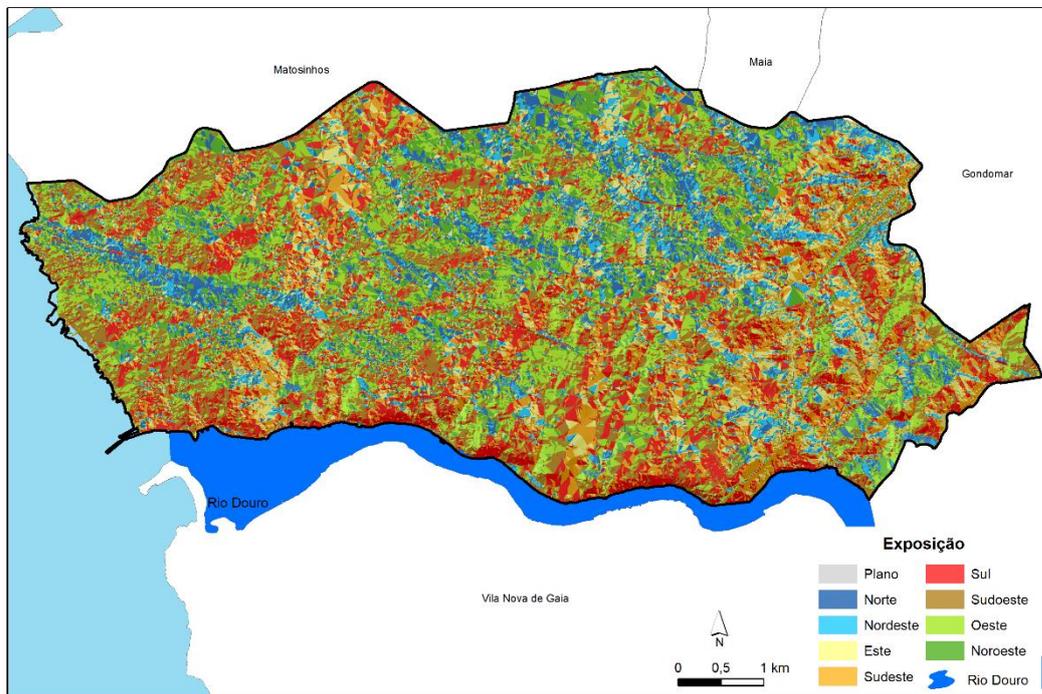


Figura 3 – Exposição de vertentes no concelho do Porto.

### 1.3. Morfologia

Na carta morfológica representam-se as principais formas de relevo da cidade do Porto (Figura 4 e Peça Gráfica 04). A fim de serem integrados na análise em ambiente SIG, foram identificadas as principais unidades morfológicas, a partir da configuração do relevo. Assim, é possível visualizar seis áreas distintas: vertentes do Douro, vales dos rios afluentes, planalto superior, plataforma intermédia e plataforma inferior, junto à faixa litoral. O planalto corresponde à área mais elevada do concelho que desce suavemente para a plataforma intermédia. A transição desta plataforma para a plataforma inferior também é suave e estende-se até ao mar. Estas plataformas encontram-se cortadas pelo encaixe do vale do Rio Douro e seus afluentes, com destaque para os rios Tinto e Torto. Os vales dos rios Tinto e Torto apresentam vertentes com declives suaves a moderados, ao contrário das vertentes do Douro, com declives abruptos e que potenciam a ocorrência de movimentos de vertente.

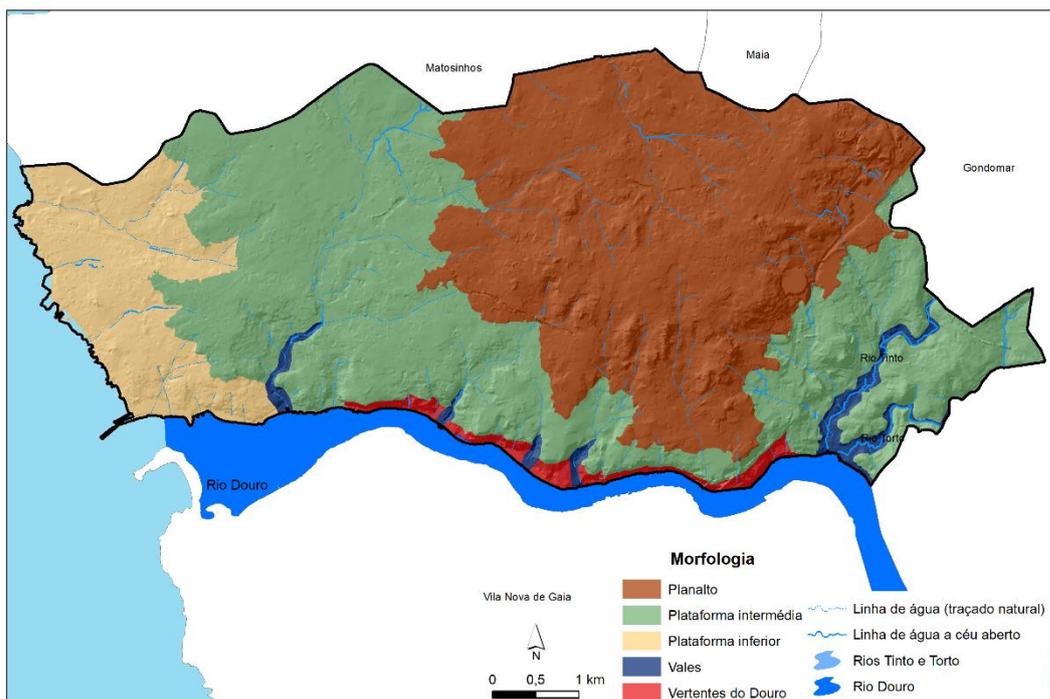


Figura 4 – Morfologia no concelho do Porto.

#### 1.4. Síntese fisiográfica

Para a realização da síntese fisiográfica utilizou-se a morfologia, as linhas de cumeada, as linhas de água e as áreas de declive superior a  $33^{\circ}$ <sup>1</sup>. As vertentes do Douro, onde se localiza a parte mais antiga da cidade, apresentam os declives mais elevados (média de  $21,6^{\circ}$ ). Os vales dos rios Tinto e Torto com declives suaves a moderados, expõem um declive médio de  $10^{\circ}$ . O planalto, que ocupa a totalidade de freguesia de Paranhos e a plataforma intermédia, onde se localizam as ribeiras a céu aberto de Asprela e da Granja, apresentam declives mais suaves,  $5^{\circ}$  em média. À medida que caminhamos para o litoral, os declives diminuem, sendo na plataforma inferior, em média, inferiores a  $4,8^{\circ}$ . A plataforma inferior abrange o parque da cidade e toda a frente marítima. As áreas com declive superior a  $33^{\circ}$  ocupam cerca de 0,5% da área total do concelho, localizando-se sobretudo na área histórica do Porto, nas vertentes sobranceiras do Douro e abrangendo as freguesias de Campanhã, Bonfim, União de Freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos e União das freguesias de Cedofeita, Santo Ildefonso, Sé, Miragaia, São Nicolau e Vitória (Figura 5 e Peça Gráfica 05).

<sup>1</sup> Limiar a partir do qual se considera maior a probabilidade de ocorrência de instabilidade de vertentes.

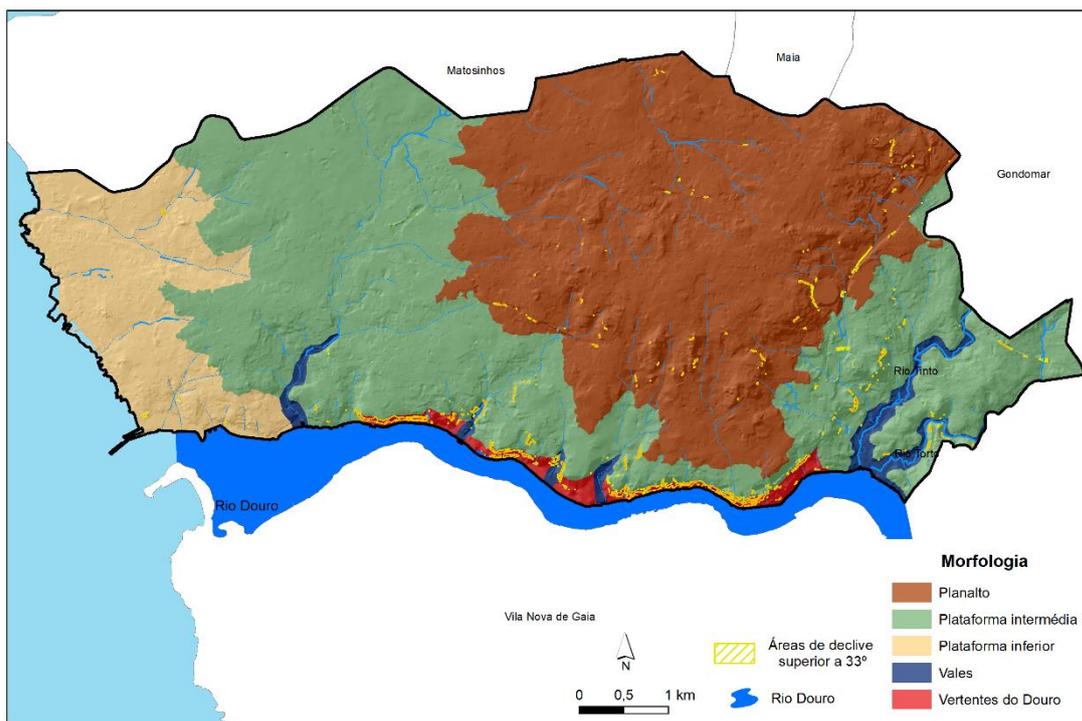


Figura 5 – Síntese fisiográfica

### 3. Geologia e geomorfologia

Este capítulo baseou-se na Carta Geotécnica do Porto (CMP, 2003) e na leitura da morfologia. Tem por objetivo, fornecer um resumo da informação presente na Carta Geotécnica do Porto e apresentar uma panorâmica geral sobre os recursos e condicionantes dos processos que podem condicionar alguns usos e funções do território. Como tal, para uma análise e caracterização em detalhe do concelho do Porto, deve-se consultar a Carta Geotécnica do Porto (CMP, 2003). Recomendamos a atualização da Carta Geotécnica do Porto, pelos limites do concelho, definidos no PDM. Não obstante esta recomendação, a informação disponível na carta geotécnica disponibiliza dados relevantes para a análise geomorfológica. Pretende-se assim, expor a litologia, as unidades geotécnicas, a geomorfologia e o potencial de permeabilidade. Este conjunto de condicionantes são determinantes na análise dos processos naturais, mesmo em ambiente profundamente urbanizado, como é a cidade do Porto. Como exemplo referimos um dos processos naturais mais marcantes e que consistem na queda de blocos e desabamento de terras, dominantes nas vertentes da margem direita do rio Douro.

#### 3.1. Litologia e unidades geotécnicas

Na carta geológica elaborada no âmbito da Carta Geotécnica do Porto distinguiram-se três tipos de formações litológicas: as formações sedimentares de cobertura, as formações

metamórficas e as formações de origem ígnea. Deste conjunto o mais extenso é o das formações de origem ígnea e em especial o das rochas graníticas de idade hercínica (340 aos 270 Ma) (CMP, 2003).

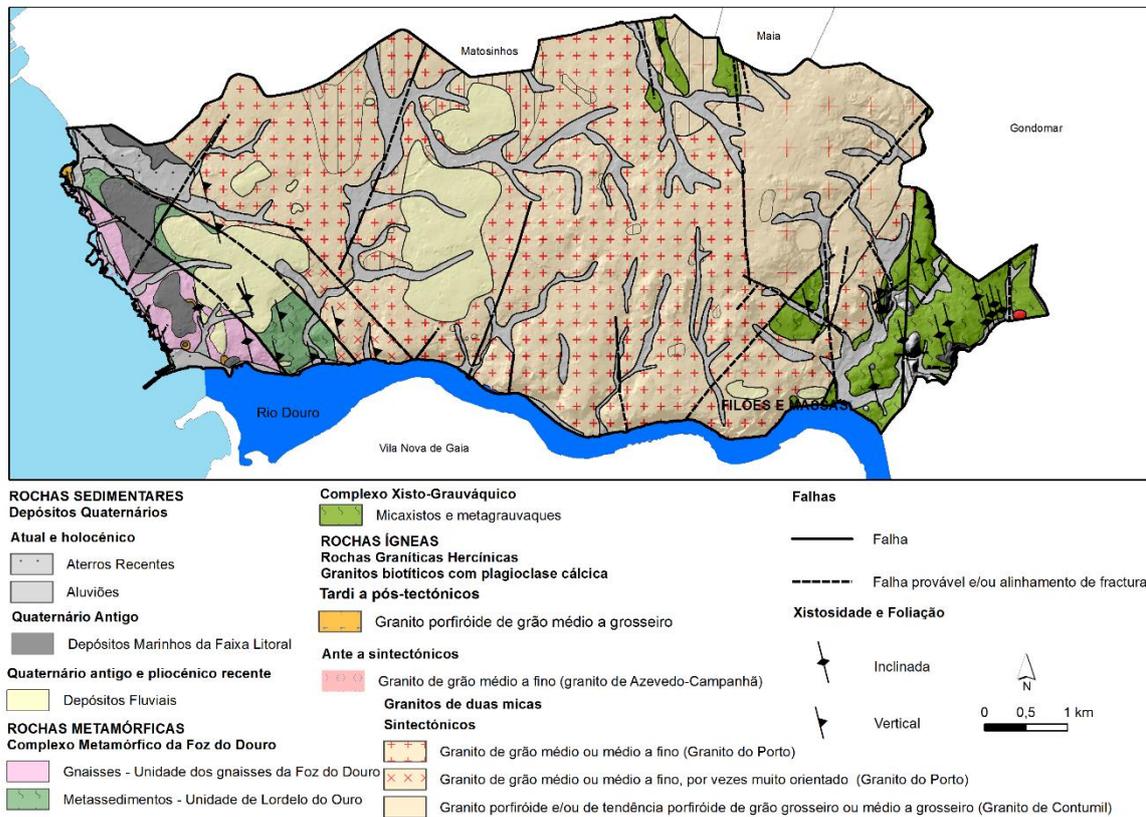


Figura 6 – Litologia no concelho do Porto

Fonte: Carta Geotécnica do Porto, CMP, 2003.

Os depósitos são compostos pelas unidades de aterros recentes, aluviões, depósitos marinhos da faixa litoral e depósitos fluviais. Os aterros recentes (at) são constituídos por materiais litológicos naturais provenientes de escavações e/ou por materiais artificiais, incluindo-se neste caso, quer o escombros resultante de obras, quer resíduos resultantes de atividades antrópicas. De referir, por exemplo, os aterros localizados na parte ocidental da cidade e depois cobertos pelo Parque da Cidade e na marginal entre a Circunvalação e a foz do rio Douro e que serviram, nomeadamente para a construção das avenidas junto ao litoral. As aluviões (a) correspondem a depósitos fluviais que ocupam os vales de pequenos rios e ribeiros e são fundamentalmente constituídos por sedimentos argilosos e areias que compõem o canal de escoamento e o leito de inundação. Os depósitos de origem marinha da faixa litoral (Q) são depósitos fundamentalmente arenosos, mas com muitos seixos rolados que correspondem a praias antigas (terraços marinhos) e localizam-se na Foz do Douro e em Nevogilde. Os depósitos fluviais (PQ) incluem por exemplo, os depósitos do Prado do Repouso e da Quinta de Nova Sintra, bem como, depósitos nas zonas da Pasteleira - Avenida Marechal Gomes da

Costa (Igreja do Cristo Rei), rotunda da Boavista (Agramonte) - Ramalde, cemitério de Aldoar e Prelada (Quinta da Seda) (CMP, 2003).

As rochas metamórficas são constituídas por dois conjuntos distintos: o Complexo Metamórfico da Foz do Douro (CMFD) e o Complexo Xisto-Grauváquico (CXG). O CMFD é composto, basicamente, por diferentes tipos de ortogneisses, anfibolitos e metassedimentos e localizam-se zona ocidental da cidade, na estreita orla litoral entre a foz do rio Douro e o Castelo do Queijo. As rochas do Complexo Xisto-Grauváquico ocorrem principalmente na zona oriental da cidade e representam vestígios do que foi o encaixante metamórfico dos granitos hercínicos, e por isso, são frequentemente cortados por material granítico (CMP, 2003).

Na cidade do Porto, as rochas graníticas hercínicas podem dividir-se em dois grupos: o dos granitos biotíticos com plagioclase cálcica e o dos granitos de duas micas. O granito do Porto e, mais frequentemente, o granito de Contumil, são cortados por filões, geralmente centimétricos, aplíticos e pegmatíticos, associando-se, por vezes, as duas litologias. Estão também assinalados os principais alinhamentos tectónicos observados e verifica-se que estão representadas as orientações ENE-WSW a NW-SE, bem como as orientações mais tardias NNE-SSW a NS (Figura 6 e Peça Gráfica 06).

Consideraram-se no total 10 unidades geotécnicas que se encontram resumidas no Quadro 1.

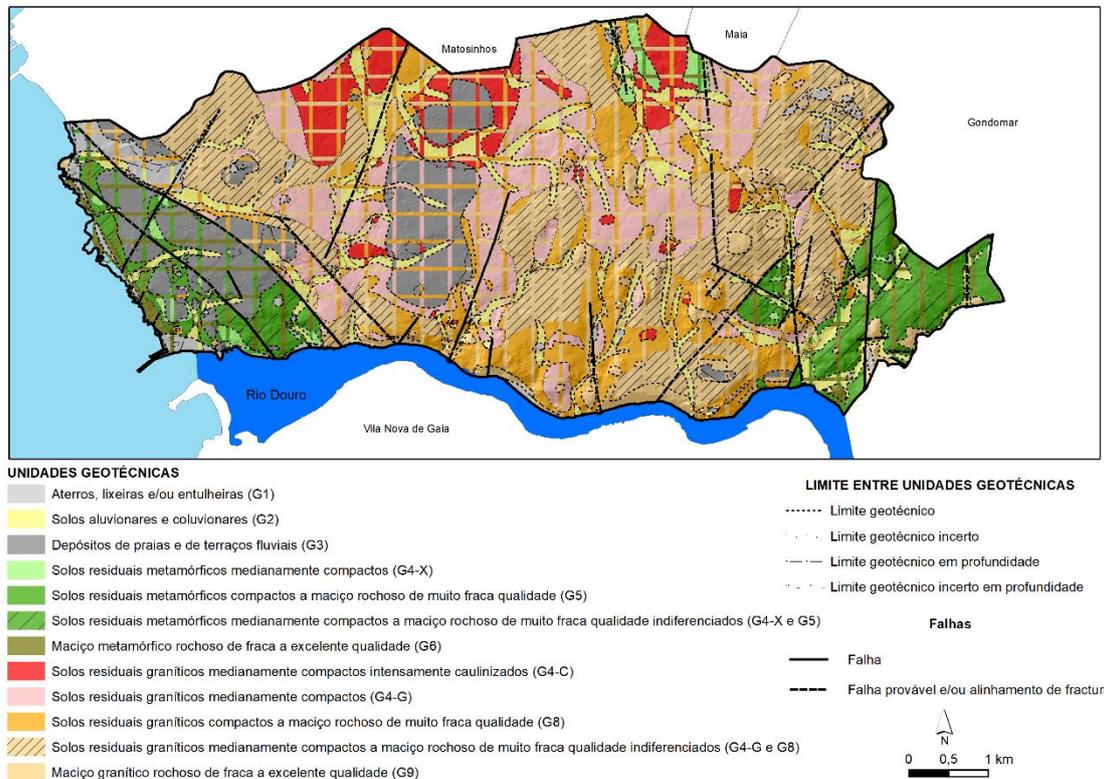
**Quadro 1- Unidades geotécnicas consideradas**

	Unidades Geotécnicas	Descrição
Depósitos Recentes	G1	Aterros
	G2	Solos aluvionares e coluvionares
	G3	Depósitos de praias e de terraço
Formações Metamórficas	G4-X	Solos residuais medianamente compactos
	G5	Solos residuais compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade
	G6	Maciço rochoso de fraca a excelente qualidade
Formações Graníticas	G4-C	Solos residuais medianamente compactos e intensamente caulinizados
	G4-G	Solos residuais medianamente compactos
	G8	Solos residuais compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade
	G9	Maciço rochoso de fraca a excelente qualidade

Fonte: Carta Geotécnica do Porto, CMP, 2003.

Os aterros (G1) são extremamente variados quer em termos de natureza e dimensão, quer de localização e finalidade e por isso, apenas se identificaram os aterros de maior dimensão,

geralmente associados a antigas escavações ou a zonas de depósitos de resíduos sólidos, como é o caso, dos existentes na Foz e marginal do Douro ou na antiga pedreira de Contumil e Parque da Cidade.



**Figura 7 – Unidades Geotécnicas no concelho do Porto**

Fonte: Carta Geotécnica do Porto, CMP, 2003.

Os solos aluvionares e coluvionares (G2) ocorrem associados às principais linhas de água da cidade ou na base de algumas vertentes, definindo geralmente neste caso pequenos socalcos. Os depósitos de praias e de terraço (G3) são formações de composição heterogénea, constituídos por níveis de seixos e cascalho intercalados com níveis predominantemente arenosos ou argilosos e que sucedem localmente em várias áreas da cidade. Os solos residuais graníticos medianamente compactos (G4-G) cobrem grande parte da cidade enquanto, os solos residuais graníticos medianamente compactos e intensamente caulinizados (G4-C) estão associados ao processo de caulinação, ou seja, a uma alteração frequente nas rochas graníticas, provocando características geotécnicas mais desfavoráveis à execução de obras de engenharia civil. Quando a caulinação é muito intensa pode formar jazigos de caulino em que desaparece a estrutura do maciço inicial. Este tipo de solos localiza-se nas freguesias de Ramalde e Paranhos. Os solos residuais metamórficos medianamente compactos (G4-X) ocorrem nos extremos ocidental e oriental da cidade, e estão associados ao Complexo de Rochas Metamórficas da Foz ou ao Complexo Xisto-Grauváquico. Os solos residuais metamórficos compactos a maciço rochoso de muito fraca qualidade (G5) são

constituídos por solos residuais compactos e rochas muito alteradas a decompostas do Complexo Metamórfico da Foz do Douro e do Complexo Xisto-Grauváquico. O maciço rochoso metamórfico de fraca a excelente qualidade (G6) é composto por rochas metamórficas que por regra, ocorrem desde medianamente alterados a são, incluindo ainda alguns trechos de maciços decompostos ou muito alterados. Os solos residuais graníticos compactos a maciços rochosos de muito fraca qualidade (G8), tal como os solos residuais graníticos (G4-G e G4-C), apresentam grande expressão espacial dentro da cidade do Porto. O maciço rochoso granítico de fraca a excelente qualidade (G9) ocorre um pouco por toda a cidade do Porto e corresponde a diferentes tipos litológicos (CMP, 2003) (Figura 7 e Peça Gráfica 07).

### 3.2. Geomorfologia

A carta geomorfológica (Figura 8 e Peça Gráfica 8) permite localizar as linhas de talvegue e cumeada, a morfologia do terreno e os alinhamentos de fratura, proporcionando a definição espacial de várias unidades geomorfológicas de comportamento dinâmico diversificado. Identificam também, as áreas mais instáveis do ponto de vista dos processos de evolução de vertentes. A classificação das áreas mais instáveis baseou-se na Carta Geotécnica do Porto (CMP, 2003). Esta classificação resultou da altura e inclinação das escarpas<sup>2</sup>, intensidade e tipo dos fatores desfavoráveis e dos indícios de instabilidade, bem como o seu historial de ocorrências de instabilidade. Outro fator considerado foi a proximidade da base e crista dos taludes<sup>3</sup> em zonas edificadas ou de intensa circulação pedonal e/ou rodoviária. Assim, apresentam-se uma classificação das escarpas quanto à sua instabilidade:

- Zonas instáveis mais críticas - correspondem a zonas onde a presença de fatores desfavoráveis e indícios de instabilização é mais acentuada e gravosa, e por isso conduzem a um maior risco e como tal devem ser alvo de intervenção e vigilância. Nestas zonas registaram-se ocorrências de fenómenos de instabilidade, geralmente do tipo queda de blocos e/ou escorregamentos de depósitos de cobertura, provocando danos em elementos expostos. Dada a sua localização e as consequências de eventuais fenómenos de instabilidade tenderão a ser gravosas. Tratam-se de zonas que, pela sua localização e características, acarretam maior risco e como tal devem ser alvo de intervenção e vigilância.
- Zonas instáveis menos críticas – apesar de se identificarem fatores favoráveis, indícios e fenómenos de instabilidade, são menos graves do que na primeira zona apresentada. Têm historial de incidentes, sem consequências graves sobre os elementos expostos. Considera-se no caso a ocorrência de manifestações de instabilidade com consequências menos graves sobre os elementos expostos, em função da menor energia desenvolvida pelos processos.

---

<sup>2</sup> Vertente inclinada

<sup>3</sup> Vertente artificializada

- Zonas potencialmente instáveis – existem fatores desfavoráveis e os sinais de ocorrência de fenômenos de instabilidade visíveis são inexistentes ou pontuais (por exemplo, existência de alguns blocos de pequenas dimensões caídos junto à base do talude). As consequências resultantes de eventuais fenômenos de instabilidade são, devido à sua geometria e localização, menos graves (Figura 8 e Peça Gráfica 08).

Nesta carta estão também patentes os movimentos de vertente, identificados na Carta Geotécnica do Porto (CMP, 2003): queda de blocos em maciços rochosos, escorregamentos associados essencialmente a maciços decompostos e muito alterados ou a depósitos de solos de cobertura ou residuais e movimento de grandes massas de terrenos devido à presença de bandas de enfraquecimento em profundidade associadas a zonas preferenciais de percolação (GEG, 2001). Estão também sinalizados os locais onde existem obras de contenção e monitorização (à data a Carta Geotécnica do Porto, 2003).

Tal como foi dito anteriormente, o Porto possui um relevo pouco acentuado, correspondendo a uma vasta área aplanada, caracterizando-se como sendo uma sequência de plataformas com uma inclinação suave para W e S, nas quais se instalou o rio Douro e seus afluentes (CMP, 2003). As zonas de maior instabilidade localizam-se sobretudo nas vertentes sobranceiras ao rio Douro, com destaque, pela dimensão, as áreas no Ouro, na Fonte das Virtudes e nas Fontainhas.

A delimitação destas áreas é aproximada. Deste modo, ressalta a necessidade e considera-se fundamental, proceder a uma identificação sistemática e em detalhe das áreas instáveis no sentido de desenvolver uma avaliação de pormenor da suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente e definir o conjunto de medidas mitigadoras a implementar. Esta necessidade é fundamental para o conjunto das atividades relacionadas com o ordenamento do território e também relativas às atividades de proteção civil.

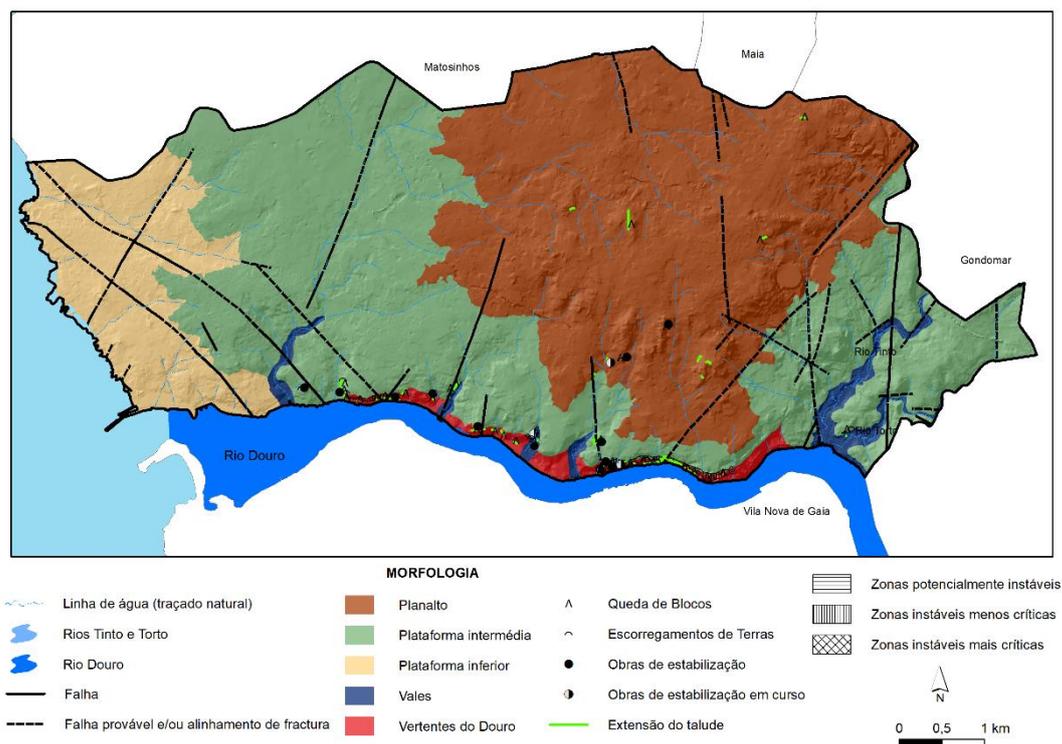


Figura 8 – Carta Geomorfológica do concelho do Porto.

### 3.3. Potencial de permeabilidade

Com base na legenda complementar da carta hidrogeológica da Carta Geotécnica do Porto (Quadro 7.4, da Notícia Explicativa, CMP, 2003), através das principais características identificadas em cada unidade hidrogeológica, identificou-se o nível de permeabilidade das unidades hidrogeológicas:

Uh 1: aquífero aluvial com limites permeáveis a semipermeável;

Uh 2: aquífero superficial com permeabilidade fissural;

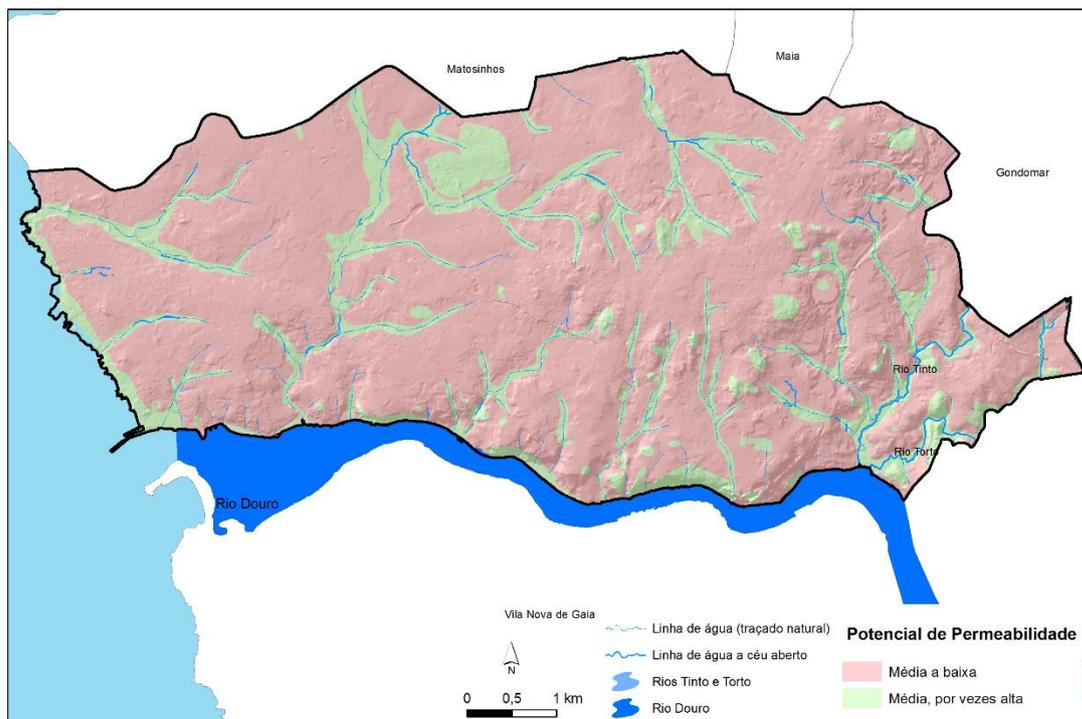
Uh 3: Aquífero superficial permeável por poro com toalha livre;

Uh 4 Aquífero profundo, cativo ou semicativo apresentam permeabilidade média a baixa.

Uh 5: sistema aquífero superficial permeável por poro com toalha livre sobrejacente a formação semi-permeável a impermeável, sobre aquífero profundo cativo ou semicativo, estão classificadas com permeabilidade média, por vezes, alta.

A unidade hidrogeológica Uh 5 apesar de apresentar permeabilidade média a baixa no aquífero profundo cativo ou semicativo, tem no aquífero superficial, constituído por aluvião e depósitos de terraço, permeabilidade média por vezes alta, e por isso foi considerada nesta última classe. Como podemos verificar, na Figura 9 e Peça Gráfica 09, cerca de 80% do território apresenta

permeabilidade média a baixa, e cerca de 20% permeabilidade média, por vezes, alta. Estes últimos são sobretudo aluviões e depósitos de terraço, que se localizam principalmente ao longo do traçado natural das linhas de água e nos vales dos rios Tinto e Torto. Assim, grande parte da cidade apresenta uma permeabilidade baixa.



**Figura 9 – Potencial de Permeabilidade.**

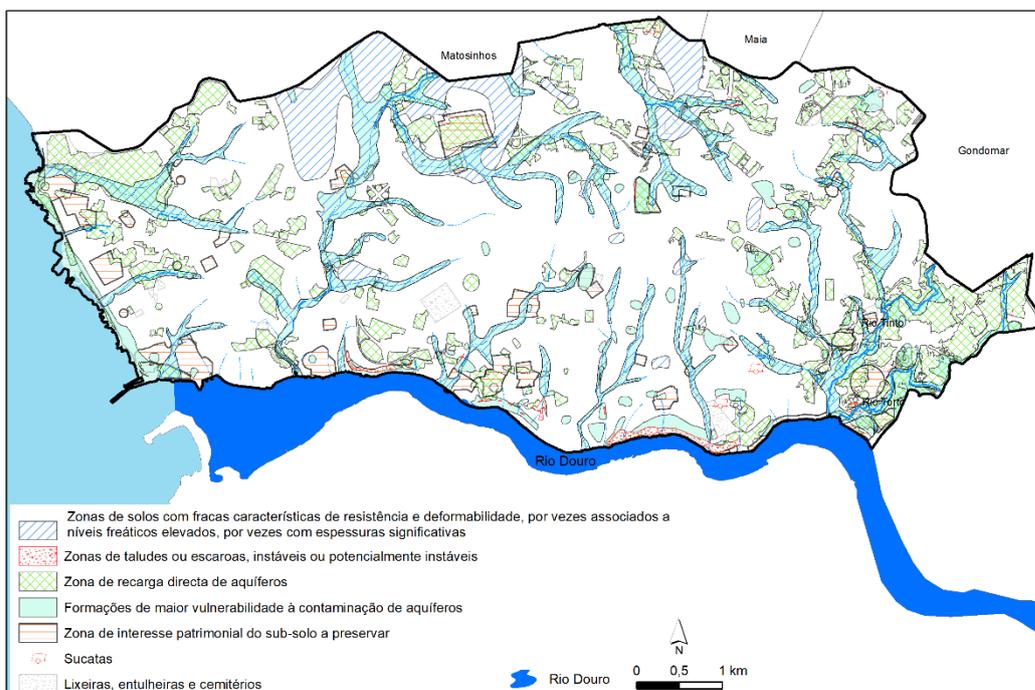
### 3.4. Condicionantes geotécnicas

Um dos objetivos principais desta carta (Figura 10 e Peça Gráfica 10) é a identificação de condicionantes estruturais à utilização do território. Localizam-se assim as seguintes áreas:

- Zonas de solos com fracas características de resistência e deformabilidade, por vezes associados a níveis freáticos elevados;
- Zonas de taludes e escarpas instáveis ou potencialmente instáveis;
- Zonas de recarga direta de aquíferos;
- Formações de maior vulnerabilidade à contaminação de aquíferos;
- Fontes de contaminação;
- Zonas de interesse patrimonial do subsolo a preservar.

Este conjunto de formações poderá existir em sobreposição. Nesta carta, estão também identificadas possíveis fontes de contaminação das águas subterrâneas, como cemitérios, lixeiras, entulheiras e sucatas. Estes elementos estão identificados como fontes de contaminação, mas alguns deles são ainda condicionantes à construção (CMP, 2003).

As zonas de solos com fracas características de resistência e deformabilidade, por vezes associados a níveis freáticos elevados, por vezes com espessuras significativas, incluem os depósitos aluvionares e coluvionares e os solos residuais graníticos intensamente caulinizados. Localizam-se por regra em área com relevo suave, associadas quer aos ribeiros, quer a zonas em que as formações graníticas sofreram intensa alteração. Estes processos de caulinação atingiram uma expressão considerável, como é exemplo a área do Viso/Ramalde onde se situam algumas das antigas explorações de caulinos. Devido à quantidade de finos presentes, estes solos apresentam-se frequentemente saturados. De uma forma geral, como consequência das fracas características de deformabilidade e resistência, da presença de solos saturados e níveis freáticos elevados, considera-se que a construção sobre estas áreas poderá ter que recorrer a soluções técnicas construtivas mais dispendiosas (CMP, 2003). Outra condicionante geotécnica são as zonas de taludes ou escarpas instáveis ou potencialmente instáveis e que se localizam sobretudo nas vertentes do Douro.



**Figura 10 – Condicionantes geotécnicas**

Fonte: Carta Geotécnica do Porto, CMP, 2003.

As zonas de recarga direta de aquíferos são as áreas que apresentam menor escoamento superficial e localizam-se por regra, em áreas de relevo suave. No entanto estas áreas serão na atualidade de menor dimensão, devido ao aumento das áreas urbanizadas. As zonas identificadas como de maior vulnerabilidade à contaminação são também áreas de declive suave e correspondem a aquíferos, com recarga direta por infiltração a partir das águas superficiais. A localização à superfície de lixeiras, entulheiras, sucatas ou outras fontes de

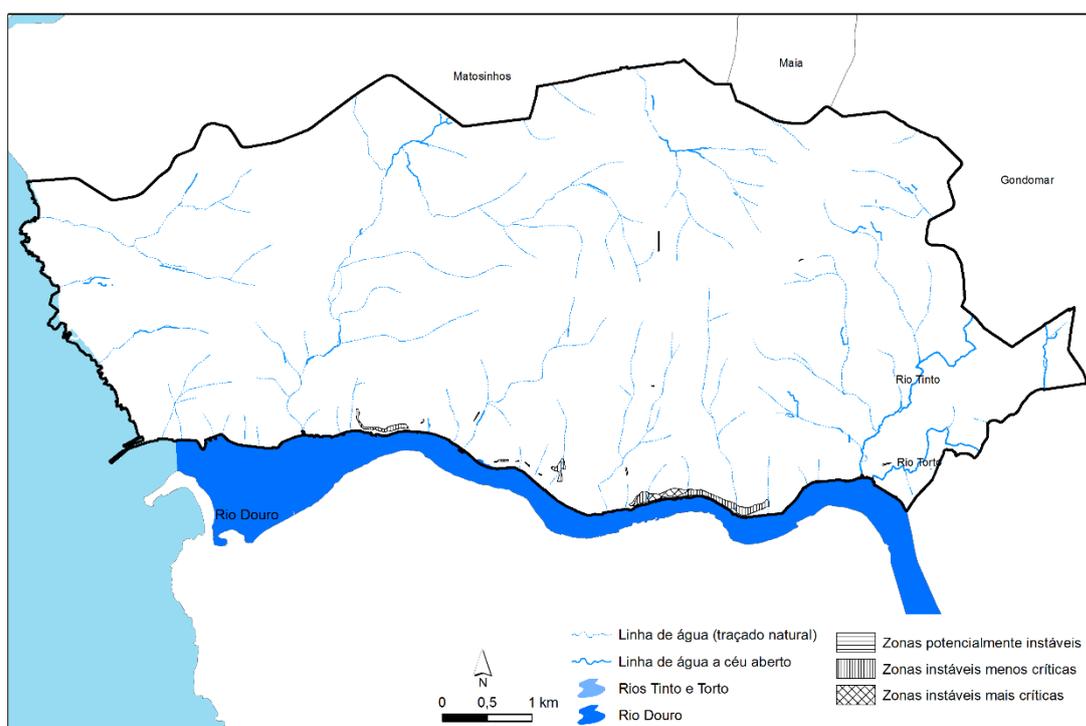
poluição potenciam o risco da contaminação dos aquíferos. É o caso por exemplo, do depósito de lixo misto e entulheira em Rebordões ou algumas sucatas sobre ou nas proximidades de aluviões do rio Torto. No âmbito da Carta Geotécnica do Porto, identificaram-se algumas zonas do subsolo que são consideradas de interesse patrimonial, devendo desta forma influenciar e condicionar o tipo de ocupação e construção. Podemos distinguir dois tipos de património: o geológico e o arqueológico. Como património geológico incluíram-se os afloramentos rochosos localizados ao longo da marginal atlântica, entre o Forte de S. Francisco de Xavier (Castelo do Queijo) e o molhe de Felgueiras (Foz Douro). Como património arqueológico apresentam-se diversas áreas de interesse arqueológico, dispersas pela cidade (Figura 10 e Peça Gráfica 10). De referir, que as áreas identificadas como condicionantes deverão ser alvo de atualização e reavaliação periódica. As áreas identificadas nesta carta podem ser condicionantes ao uso e ao ordenamento do território. Um dos fins da política pública de solos, de ordenamento do território e de urbanismo é “evitar a contaminação do solo, eliminando ou minorando os efeitos de substâncias poluentes, a fim de garantir a salvaguarda da saúde humana e do ambiente” (Lei n.º 31/2014 de 30 de maio, artigo 2). Por isso, recomenda-se:

- a) Levantamento e inventário de todas estas áreas, inclusive lixeiras, contaminantes, indústrias poluentes ou depósitos de gasolina desativados em estreita colaboração com a proteção civil municipal;
- b) Proceder à modelação do potencial de propagação dos pontos de poluição identificados no inventário proposto na alínea a);
- c) Inventariar e avaliar o potencial de risco ambiental decorrente de acidentes que afetem a circulação de matérias perigosas que circulam na cidade, principalmente na Via de Cintura Interna e via-férrea com origem em Matosinhos, e que podem desenvolver processos de contaminação no solo da cidade do Porto.

### 3.5. Áreas críticas a processos de instabilidade de vertentes

A forte incisão do vale do Douro entre Porto e Vila Nova de Gaia, levou à formação de vertentes rochosas íngremes que, associadas a uma densa rede de fracturação e a processos de alteração intensa, podem promover a ocorrência de movimentos de vertente. Em Portugal continental, entre 1865 e 2010, registaram-se 239 mortos, 422 feridos, 819 pessoas evacuadas e 1561 desalojados devido a movimentos de vertente (Zêzere *et al.*, 2014). O registo desses processos foi avaliado através de levantamento de jornais entre 1865 e 2010, embora informações mais consistentes só estejam disponíveis desde 1940. Em março de 1959, os periódicos relataram a “tragédia de Guindais”, onde várias pessoas morreram. As ocorrências aumentaram ao longo de todo o século XX e tornaram-se menos frequentes desde 2001, após o início das medidas de estabilização de taludes, com obras de contenção e demolição de estruturas residenciais profundamente degradadas, principalmente nas escarpas Guindais / Fontainhas (Bateira & Soares, 1997; Borges & Correia, 2003).

Nesse contexto, as áreas com maior suscetibilidade geomorfológica e onde há diversos registos de acidentes, estão localizadas entre as pontes D. Luís I e D. Maria, onde ocorreram as intervenções mais importantes de estabilização de taludes (na parte da escarpa que revelava perigo de desabamento eminente) e também alguns setores próximos da ponte Arrábida (Figura 11 e Peça Gráfica 11).



**Figura 11 – Zonas de taludes ou escarpas, instáveis ou potencialmente instáveis, no concelho do Porto.**

Fonte: Carta Geotécnica do Porto, CMP, 2003.

Um dos fatores de condicionamento mais importantes da instabilidade das vertentes é a rede de fracturação. O rio Douro apresenta uma direção geral EW, mas em pormenor adapta-se à orientação das principais fraturas (Chaminé et al., 2010). Essas direções geram uma rede de fraturas quase ortogonal, muitas vezes de acordo com o gradiente de inclinação da topografia, favorecendo as quedas de blocos e desabamento de terras. Aproveitando a intensidade de alteração diferenciada da rocha, estas fraturas promovem a instabilidade das vertentes. Tais condições facilitam a ocorrência de movimentos de vertente.

Salienta-se a necessidade de proceder a uma leitura exata e precisa das áreas mais suscetíveis à ocorrência de movimentos de vertente, através de uma avaliação de pormenor. Uma avaliação consistente deverá promover os seguintes processos:

- Limpeza completa das áreas assinaladas como de maior instabilidade de vertente;

- b) Desenvolver um estudo sobre os fatores condicionantes da instabilidade ao longo da escarpa e elaborar a cartografia das condicionantes;
- c) Desenvolver estudos de identificação dos processos de circulação hídrica interna aos maciços rochosos a montante de cada escarpa identificada com potencial de instabilidade;
- d) Definir os diversos graus de suscetibilidade ao desabamento/deslizamento e eleger áreas de intervenção prioritária;
- e) Elaborar projetos de intervenção e implementar a obras de estabilização;
- f) Definir um *workflow* de monitorização (de acordo com a variação dos fatores desencadeantes);
- g) Definir um conjunto de normativas legais que enquadrem as intervenções relativas ao uso do território nas áreas identificadas com potencial de instabilidade e das áreas do maciço definidas como relevantes para a circulação hídrica interna com influência na instabilidade dos taludes;
- h) Todas as intervenções devem ser acompanhadas de projeto de avaliação geotécnica.

## 4. Hidrografia e Inundações

A hidrografia é essencial para o ordenamento do território e por isso, é fundamental conhecer a sua distribuição e as características que apresentam. O seu estudo contribui decisivamente para as opções de ordenamento, nomeadamente, relativas à localização das populações e estabelecimentos. Por outro lado, a ocupação de áreas em leito de cheia ou frequentemente sujeitas a inundações urbanas acarreta prejuízos para as populações e para o município. A urbanização de áreas extensas leva a uma redução significativa da capacidade de infiltração e ao aumento considerável do escoamento direto, fomentando os picos de cheia (Ramos, 2009). A construção urbana, a inexistência de espaços verdes, o desrespeito pela dinâmica hidrológica e as intervenções inadequadas nos leitos de cheia, contribuem não só para aumentar a magnitude das cheias mas também o grau de vulnerabilidade e de exposição de pessoas e atividades económicas às cheias (Ramos & Ramos-Pereira, 2011).

A rede hidrográfica do concelho apresenta duas realidades distintas: as linhas de água parcialmente canalizadas e as linhas de água a céu aberto. As linhas de água que atualmente atravessam a cidade encontram-se, na sua grande maioria, canalizadas existindo apenas alguns trechos a céu aberto. As únicas linhas de água que se desenvolvem, quase na totalidade do seu percurso a céu aberto, são os rios Tinto e Torto. O Rio Douro é o elemento hidrográfico mais significativo, correspondendo ao limite sul, em cerca de 10 km do concelho até à foz, no Oceano Atlântico. A bacia hidrográfica do Douro tem uma área de aproximadamente 79 mil km<sup>2</sup>, sendo 19 mil km<sup>2</sup> em território nacional (correspondendo a 20% do área total), envolvendo sete distritos, dos quais o Porto, com o maior número de habitantes (APA, 2012).

Em Portugal continental, entre 1865 e 2010, as cheias causaram 1012 mortos, 478 feridos, 13 372 evacuados e 40 283 desalojados (Zêzere *et al.*, 2014). Por isso, é relevante a análise da distribuição das inundações urbanas e a definição das áreas inundáveis nos principais rios da cidade. As cheias são episódios extremos e temporários, principalmente desencadeados por precipitação persistente a moderada ou por chuvas intensas abruptas. No entanto, outras condições, como os solos, as características de escoamento superficial, as medidas de proteção, o uso do solo e sazonalidade nos regimes hidrológicos também são importantes (Santos *et al.*, 2015).

O concelho do Porto devido à intensa impermeabilização do solo, à topografia e ao regime de precipitação a que está sujeito, reúne as condições favoráveis à ocorrência de inundações urbanas. As inundações urbanas podem ocorrer ao fim de algumas dezenas de minutos de precipitação intensa, devidas à sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais nos meios urbanos. Já as cheias rápidas são o resultado de precipitação intensa, numa pequena área e num curto espaço de tempo (Borga *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2017) nos rios e ribeiras de pequenas e médias bacias hidrográficas (ex. rios Tinto e Torto). Estas situações conduzem a pontas de cheias elevadas, nomeadamente quando afetam bacias pequenas, localizadas em áreas de elevadas densidades urbana e populacional, onde a impermeabilização do solo e o confinamento das linhas de água contribuem para a modificação do regime hídrico. Exemplo disso, foi a cheia rápida de 4 de janeiro de 2016, em Campanhã. As cheias progressivas, acontecem nos grandes rios (ex. rio Douro), e de uma forma geral são o resultado de chuvas prolongadas e contínuas, associadas às descargas de barragens controladas por Portugal e Espanha. Em território nacional, o terço final da bacia do rio Douro revela a maior contribuição para a formação de cheias e devido às precipitações e às características geomorfológicas e orográficas, que proporcionam uma baixa permeabilidade e relevo acidentado, com vales profundos e encaixados. Os aproveitamentos hidroelétricos existentes ao longo do curso principal e nos afluentes portugueses e espanhóis têm uma capacidade reduzida para amortecimento de cheias e pouca capacidade de regularização de caudais (APA, 2012). No Douro, registaram-se grandes cheias, por exemplo em 1909, 1962, 1989 ou 2001. As cheias progressivas do rio Douro afetam sobretudo áreas de urbanização consolidada no centro histórico e, por esse motivo, são objeto de gestão de risco a cargo da proteção civil e, só lateralmente são objeto de tratamento preventivo por via do ordenamento do território.

#### 4.1. Bacias hidrográficas

Das bacias hidrográficas identificadas destacam-se as bacias da ribeira da Granja e do rio Tinto, com uma área de cerca de 10 km<sup>2</sup> e 7,5 km<sup>2</sup>, respetivamente (Figura 12 e Peça Gráfica 12). A ribeira da Granja atravessa as freguesias de Ramalde e Lordelo do Ouro, circulando a céu aberto apenas no Viso e próximo do Clube Fluvial Portuense. O rio Tinto, com quase a totalidade do seu percurso a céu aberto, atravessa a freguesia de Campanhã. O mesmo se

verifica com a bacia do rio Torto. Das restantes bacias, de pequena dimensão, as mais relevantes são as de Aldoar e de Rio Frio e Rio de Vila, com menos de 4km<sup>2</sup>. Nesta última bacia, não existe nenhum sector de linha de água a céu aberto. Na bacia de Massarelos, com 2,2 km<sup>2</sup>, existem dois sectores de linha de água a céu aberto, da ribeira de Vilar junto à Rua dos Burgães e próximo da Rua dos Moinhos. A ribeira de Asprela, que desagua no rio Leça, apresenta um importante sector a céu aberto junto ao Pólo II da Universidade do Porto. A maior parte da cidade encontra-se impermeabilizada e as linhas de água estão quase na sua totalidade canalizadas. Apenas as bacias dos rios Torto, Tinto, Nevogilde, Ervilheira e Asprela, apresentam sectores não urbanizados com agricultura.

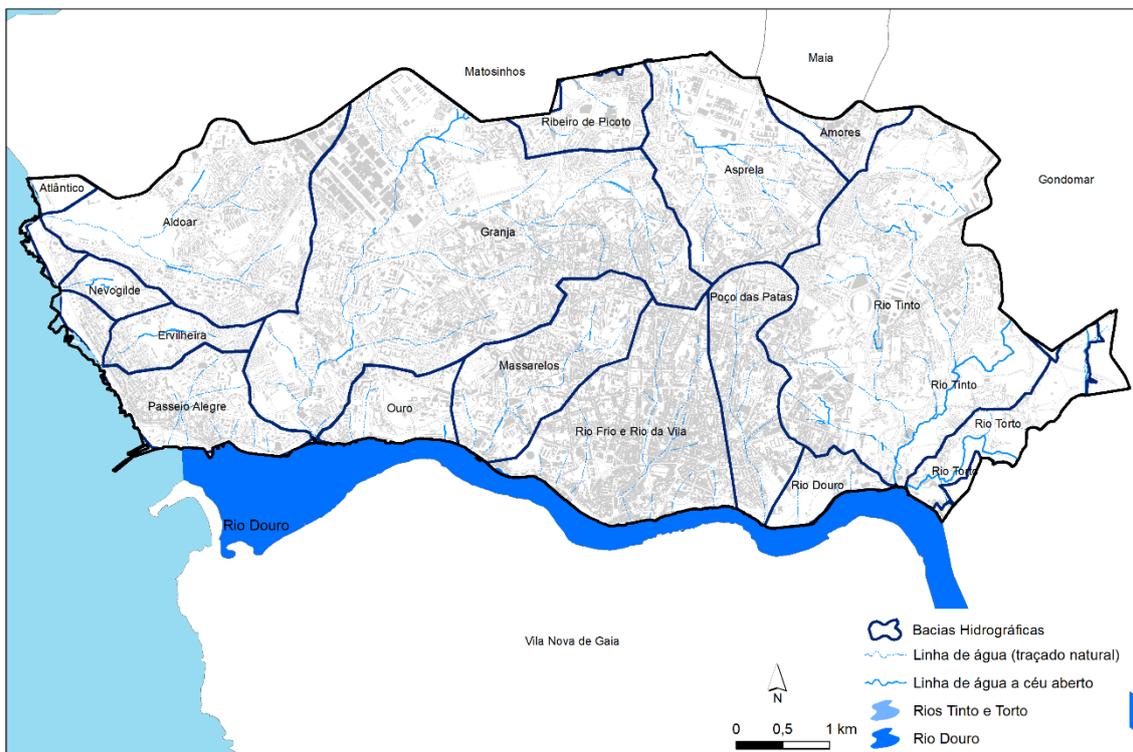


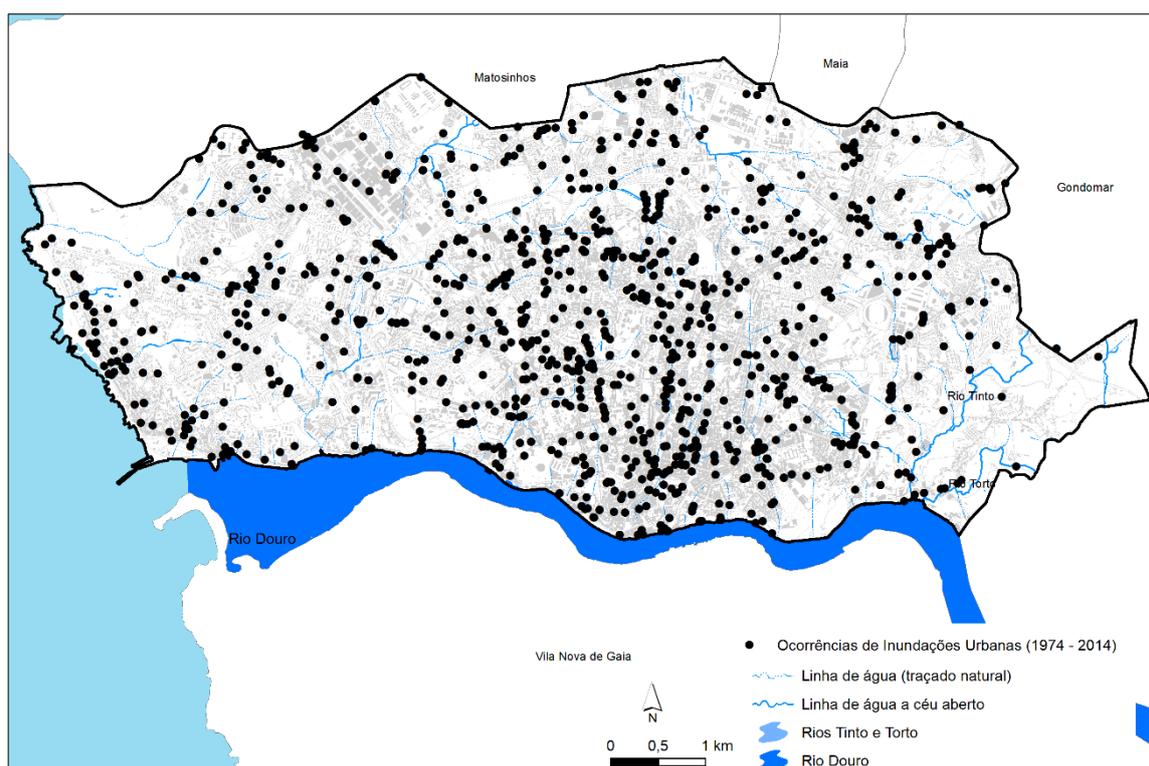
Figura 12 – Rede hidrográfica e bacias hidrográficas no concelho do Porto.

## 4.2. Inundações urbanas

A partir do estudo para a identificação de áreas suscetíveis de serem afetadas por inundações urbanas na cidade do Porto (FLUP, 2015) identificaram-se 1407 ocorrências para as quais havia referência espacial desde 1974 até 2014. Como era de se esperar, são os meses de outubro, novembro e dezembro, que registam mais ocorrências. Analisando o número de ocorrências por ruas da cidade do Porto, verifica-se que a estrada mais referenciada é a Via de Cintura Interna. Com mais de 30 ocorrências entre 1974 a 2014, sinalizam-se a Avenida da Boavista, a Via Panorâmica, a Avenida de Gustavo Eiffel e a Rua Justino Teixeira. Também com um elevado número de ocorrências, destacam-se a Estrada da Circunvalação, a Rua

Barão de Forrester, a Praça de Nove de Abril, a Rua de Santa Catarina, a Avenida Fernão de Magalhães, a Rua da Torrinha, a Rua de Alexandre Braga, a Rua de Pedro Hispano, a Rua de Gondarém ou o Campo 24 de Agosto (Figura 13 e Peça Gráfica 13).

Como se pode verificar pela figura, a maior densidade de ocorrências localiza-se no centro da cidade, área fortemente impermeabilizada com poucos espaços verdes favoráveis à infiltração de água. Este tipo de processo desenvolve-se sobretudo, em locais de concentração de escoamento por vezes associados à falta de limpeza dos sistemas de águas pluviais.



**Figura 13 – Ocorrência de inundações urbanas, entre 1974 e 2014.**

A avaliação das áreas inundáveis deverá ser objeto de modelação de detalhe em plano de pormenor com recurso ao levantamento topográfico de elevada resolução. Considera-se essencial o seguinte procedimento:

- Construir um MDT de elevada resolução para cada uma das áreas sujeitas a inundação urbana;
- Identificar as precipitações críticas para tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos;
- Modelar as áreas inundáveis para cada tempo de retorno em cada ponto de inundação urbana.

### 4.3. Inundações

A definição dos leitos de inundação nos rios Torto e Tinto para um período de retorno de 100 anos foi elaborada por modelação hidrológica e teve por base o modelo digital de superfície. Através da informação disponível, foram definidos os parâmetros geométricos a utilizar em cada uma das bacias hidrográficas, determinou-se a precipitação máxima diária para um período de retorno de 100 anos, através da distribuição de probabilidades de *Generalized Extreme Value* (GEV) e calculou-se os caudais de ponta de cheia, estimados por aplicação do método racional. De seguida, procedeu-se à determinação da superfície livre de escoamento para cada um dos caudais máximos com recurso ao *software* Iber 2.4.3 (Bladé *et al.*, 2014).

Devido aos encaixes ao longo de quase todo o percurso, quer o rio Tinto quer o rio Torto não apresentam grandes extensões na superfície de cheia, excetuando no trecho mais a montante, no limite de concelho com Gondomar. No que respeita aos elementos expostos, é de destacar as construções que se prolongam ao longo das margens, realçando-se os sectores finais dos rios Tinto e Torto, mais urbanizados, na freguesia de Campanhã (Figura 4 e Peça Gráfica 14).

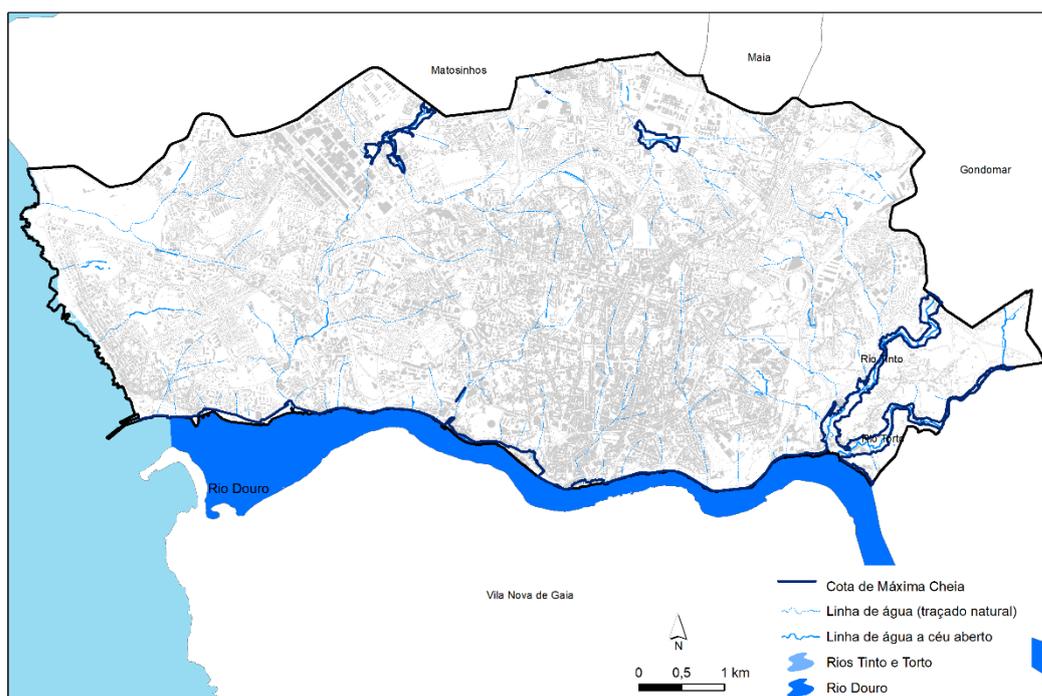


Figura 14 – Cotas de máxima cheia no concelho do Porto.

De referir, que a delimitação destas áreas é aproximada e denuncia a necessidade de confirmação através de modelos digitais de elevação de detalhe. O espaço junto à ETAR do Freixo e a Estada da Circunvalação próximo do Lagarteiro são exemplos dessa necessidade. Para a modelação de áreas inundáveis são necessárias as dimensões e as cotas de todos os elementos ou infraestruturas localizadas na área de estudo, bem como as passagens hídricas. A utilização de cartografia de base de detalhe permitiria a construção de um modelo digital de

superfície de melhor qualidade, o que melhoraria a precisão espacial dos resultados da modelação efetuada. Deste modo, sugere-se:

- a) Criação de um modelo digital de superfície a partir de um levantamento aerofotogramétrico de baixa altitude para as áreas inundáveis dos rios Tinto e Torto,
- b) Correção do MDS, sobre o terreno com GPS de alta precisão nos pontos onde o MDS se revelar insuficientemente rigoroso para a modelação precisa da área inundável;
- c) Modelação da área inundável;
- d) Definição de medidas que minimizem os efeitos das inundações para as estruturas identificadas nas áreas inundáveis.

Quanto às cotas de máxima cheia das ribeiras da Granja e Asprela e do rio Douro, estas correspondem a *“+11,0 a montante da Ponte da Arrábida e uma cota de +8,0 na Baía de S. Paulo. Entre estes locais admite-se que o abaixamento da água é linear”* conforme documento anexo à ata da reunião com a ARH Norte de 3/02/2011. Entre estes locais, destacam-se ao longo do rio Douro, as: Rua do Passeio Alegre, Rua de António Cálem, Rua de Monchique, Rua Nova de Alfândega, Rua de Miragaia, Cais da Estiva, Cais da Ribeira, Muro dos Bacalhoeiros, Rua de Cima do Muro ou o Cais dos Guindais. Já a cota de máxima cheia da ribeira da Granja abrange por exemplo as ruas Dr. Eugénio da Cunha e Freitas, Pirmin Treku e Central do Viso. A cota de máxima cheia da ribeira da Asprela abrange as ruas de Alfredo Allen e Júlio Amaral de Carvalho, na freguesia de Paranhos, junto ao Pólo II da Universidade do Porto (Figura 4 e Peça Gráfica 14).

A frente marítima da cidade do Porto pode também sofrer inundações por galgamentos marinhos. No âmbito do trabalho efetuado pela Faculdade de Letras da Universidade do Porto e o Governo Civil do Porto sobre os locais de maior suscetibilidade natural e perigosidade induzida pela ocupação antrópica para o litoral do Distrito do Porto, identificam-se 117 ocorrências entre 1958 e 2006, através de inventário de ocorrências noticiadas. Consideraram-se, quanto à gravidade, 4 tipos de ocorrências: Fraca, Média, Forte e Muito Forte, em função do tipo de lugar atingido e dos estragos causados:

- Fraca gravidade: as que não resultaram em prejuízos materiais nem em risco para as pessoas;
- Média gravidade: ocorrências que resultaram em prejuízos materiais significativos, mas sem risco para as pessoas;
- Forte gravidade: ocorrências que resultaram em estragos materiais importantes ao nível das infra-estruturas, com risco fraco para as pessoas;
- Muito forte gravidade: ocorrências com ou sem prejuízos materiais importantes, mas que colocaram pessoas em risco (afetando casas de habitação).

No sector entre Via do Castelo do Queijo e a Avenida do Brasil, verificaram-se diversas ocorrências sobretudo de gravidade fraca e forte. Este sector está fortemente sujeito a galgamentos oceânicos que devido à forte densidade de edificado, incluindo a presença de diversos cafés/bares, poderá causar graves danos, nomeadamente ao longo de toda a estrada

da marginal. A Praia de Gondarém e a Praia da Luz são os locais mais problemáticos. No sector entre o Molhe de Felgueiras e a Cantareira ocorreram diversas situações classificadas como Forte e Muito Forte gravidade, sobretudo na Rua da Praia, Praia do Ourigo e Rua do Passeio Alegre.

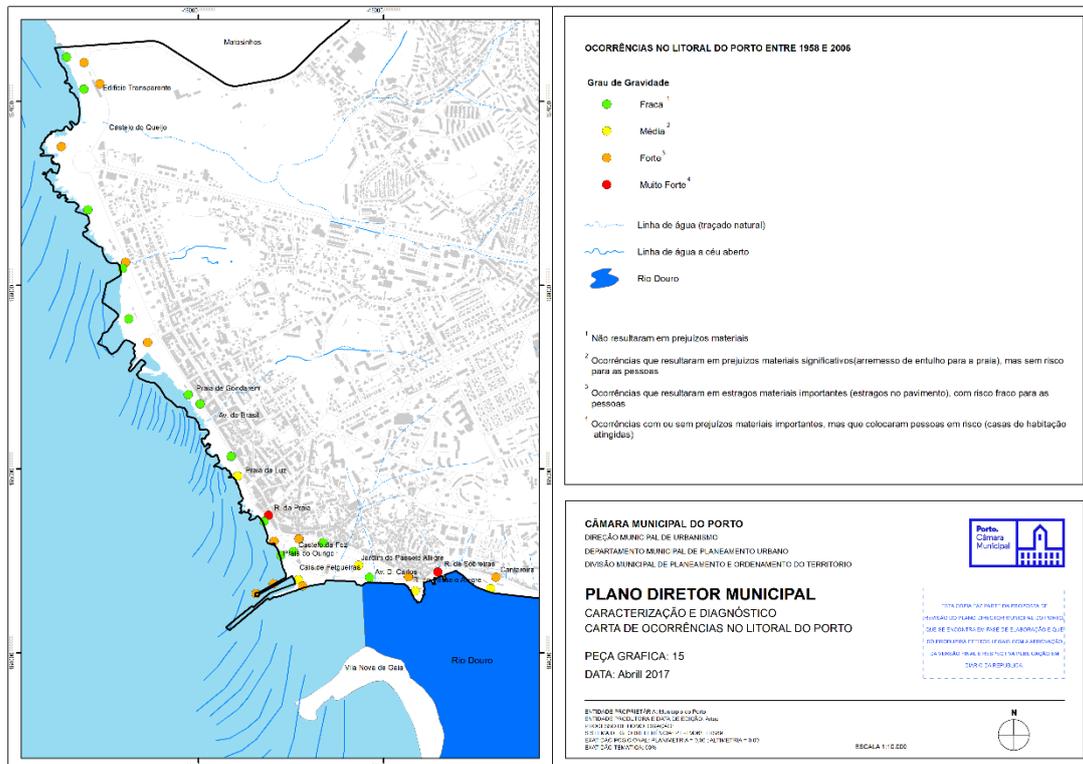


Figura 15 – Ocorrências de galgamento oceânicos, entre 1958 e 2006.

Em janeiro de 2014, pessoas e carros foram arrastados pelo mar. Ainda este ano, em fevereiro (02-02-2017), a Avenida D. Carlos foi cortada à circulação e o mar galgou o muro de proteção. Para além da dinâmica marítima este sector ainda se encontra sujeito à dinâmica hidrológica do Rio Douro, sobretudo no que se refere às cheias e inundações. Neste sector desenvolvem-se sobretudo processos de galgamentos oceânicos, que em determinados momentos inviabilizam a utilização da estrada marginal e conseqüentemente das infraestruturas adjacentes (bares, restaurantes, etc.). De referir, que os molhes na foz do rio Douro construídos *à posteriori* do trabalho referido, certamente promoveu alterações importantes na dinâmica litoral e, em conseqüência, permitiu mitigar a gravidade de ocorrências (Figura 15 e Peça Gráfica 15). Recomenda-se por isso, a atualização deste registo até à atualidade.

## 5. Sistema Húmido

Para a identificação da Estrutura Ecológica Fundamental, indispensável à sustentabilidade do território, é essencial a identificação do sistema húmido. O sistema húmido integra as linhas de água e zonas adjacentes, bacias de receção de águas pluviais e correspondem às áreas

planas ou côncavas, onde a água e o ar frio se acumulam. Para além das linhas de água e zonas adjacentes, os sistemas húmidos integram o sistema litoral (arribas e depósitos de vertente; areias e dunas) (Magalhães *et al.*, 2007). Neste trabalho o sistema húmido complementa:

1. Áreas adjacentes às linhas de água a céu aberto, em solos de aluvião;
2. Áreas sujeitas a inundações, cheias ou galgamentos oceânicos;
3. Áreas de taludes e escarpas instáveis;
4. Áreas verdes.

Por áreas adjacentes às linhas de água (1) consideram-se as áreas aplanadas, contíguas às margens das linhas de água a céu aberto, com solos de aluvião e que apresentam maior permeabilidade. Para além, das áreas adjacentes às linhas de água, selecionaram-se as áreas sujeitas a inundações, cheias ou galgamentos oceânicos (2). Estas áreas são ecossistemas como as praias, zonas naturais sujeitas às variações das marés e as áreas atingidas por cheias ou inundações. De seguida, selecionaram-se a unidade paisagística relevante como as zonas de taludes e escarpas instáveis (3), com o objetivo de se preservar as drenagens naturais. Selecionaram-se também as áreas verdes (CIBIO) (4) com relevância para a infiltração e recarga de aquíferos que pela sua dimensão poderá ser potenciada a infiltração mantendo a sua superfície permeável e favorecendo funções ecológicas de grande importância, para além de todas as funções ambientais, sociais e económicas já conhecidas (Sá, 2013).

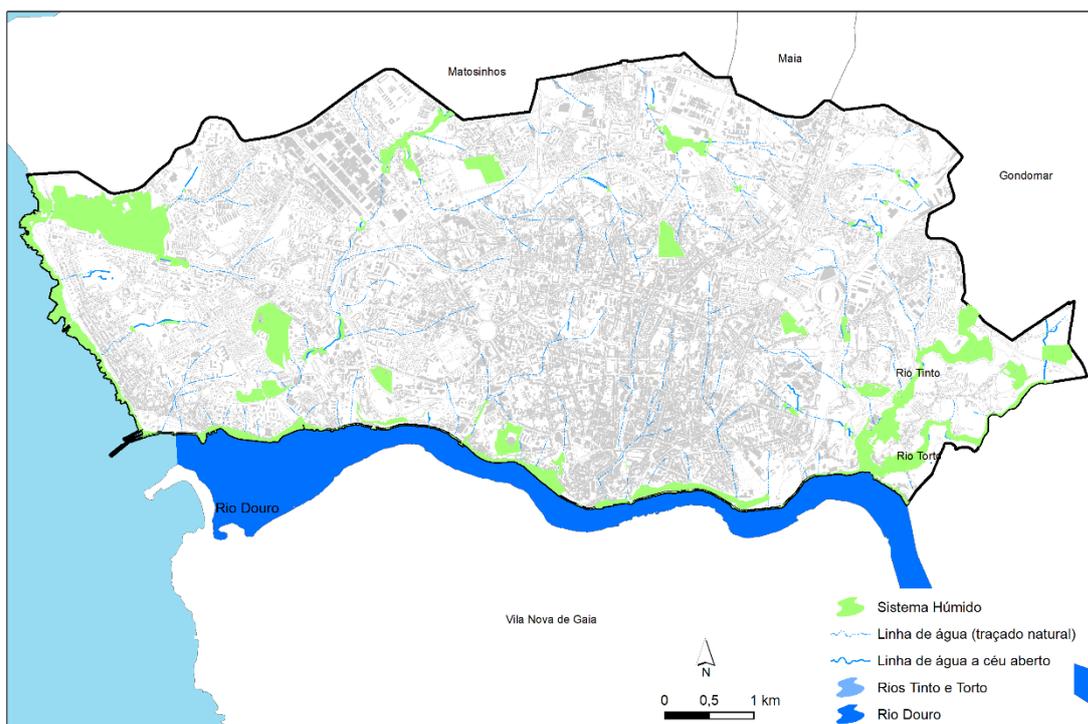


Figura 16 – Sistema Húmido no concelho do Porto.

Podemos identificar, os parques de média dimensão, como por exemplo, Serralves, Covelo, Palácio de Cristal e Parque Oriental da Cidade do Porto e a grande superfície do Parque da Cidade, como espaços importantes para o desenvolvimento da drenagem superficial e subsuperficial da água e que, por isso, devem ser integrados no sistema húmido (Figura 16 e Peça Gráfica 16). Considerando que quanto maior for a dimensão dos espaços verdes, maiores são os benefícios potenciais que esses espaços podem trazer. Por esse motivo, considerando o contexto urbano do concelho é fundamental que, não sendo possível o alargamento, deverá ser promovida a manutenção das áreas verdes como elemento essencial do sistema húmido. Consideramos que os espaços identificados no sistema húmido são muito importantes para potenciar a infiltração e evitar o agravamento das inundações urbanas na cidade (Figura 16 e Peça Gráfica 16).

## 6. Conclusões

A avaliação do suporte biofísico permite identificar os espaços fundamentais para o funcionamento das dinâmicas naturais e definir estratégias para o ordenamento do território da cidade do Porto. Um dos objetivos essenciais do ordenamento do território é o de garantir a utilização sustentável do território, maximizando os recursos que ele apresenta e minimizando os riscos que o afetam (Ramos *et al.*, 2010). A ponderação de todos os temas analisados é determinante para o desenvolvimento do PDM, salvaguardando o suporte biofísico e a qualidade de vida da população. Da análise realizada é possível inferir que os aspetos geomorfológicos são os principais parâmetros ambientais a condicionar as intervenções do homem no território, nomeadamente as componentes hidrológicas relacionadas com as cheias e inundações, o sistema húmido e as áreas declivosas com suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente.

As áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente, que se localizam sobretudo na área histórica do Porto, nas vertentes sobranceiras do Douro, deverão constituir ponderação da edificação e no tipo e características dessa ocupação. São áreas que devem ser alvo de uma reavaliação detalhada e monitorização constante, para a salvaguarda de pessoas e bens.

Os espaços abrangidos pelas cotas de máxima cheia, devem ser alvo de um estudo de pormenor, através da construção de um modelo digital de superfície com precisão e detalhe, como referido anteriormente. Só assim será possível definir medidas que minimizem os efeitos das inundações, através de normas específicas para a edificação, sistemas de proteção e de drenagem.

As áreas do sistema húmido devem ser conservadas de modo a privilegiar a infiltração permitindo a permeabilidade dos solos, diminuindo a escorrência superficial, a sobrecarga dos coletores e evitar o agravamento dos processos de inundações urbanas. As linhas de água

possuem um papel fundamental no equilíbrio ecológico da paisagem e, tal como as respetivas zonas adjacentes, têm potencialidades únicas, para a criação de espaços de lazer. Deste modo, estão incluídas as áreas verdes, fundamentais para o ordenamento do território e para a melhoria da qualidade de vida das populações urbanas, como acontece por exemplo, com o Parque da Cidade ou o Parque Oriental da Cidade do Porto. A maior parte destes espaços na cidade do Porto estão associados a áreas relacionadas com atividades de lazer e recreio e por isso, devem ser protegidas e sujeitas a monitorizações periódicas.

De forma resumida, será necessária uma atualização/melhoria da qualidade dos dados de base, para um melhor diagnóstico do território:

- Inventário dos contaminantes do solo e empresas que utilizam poluentes;
- Estudo de pormenor das áreas identificadas como instáveis à ocorrência de movimentos de vertente;
- Construção de um modelo digital de terreno de alta precisão nas áreas adjacentes aos rios Tinto Torto, Asprela e Granja e áreas mais suscetíveis à ocorrência de inundações urbanas;
- Atualização do inventário de ocorrências de inundações por galgamentos marinhos.

## 7. Indicadores de Monitorização

De seguida, apresentamos os indicadores chave que necessitam de monitorização, com base nos resultados do diagnóstico efetuado.

Indicadores	Observações/Método de Cálculo	Unidade de Medida
Fontes de contaminação	$IFC = FCont\ ano / FCont\ ano\ anterior$ <p>IFC - Índice de avaliação de fontes de contaminação</p> <p>FCont - Número de contaminações</p>	Adimensional
Áreas de cursos de água e margens renaturalizadas	$ICA_{\text{água}} = Ren\ ano / Ren\ ano\ anterior$ <p>ICA<sub>água</sub> - Índice de avaliação de renaturalização</p> <p>Ren - Renaturalização dos cursos de água e margens executados (km<sup>2</sup>)</p> <p>ICA<sub>água</sub> &gt; 1 - Aumento da área renaturalizada; ICA<sub>água</sub> &lt; 1 - Diminuição da área renaturalizada</p>	Adimensional
Número de árvores plantadas	$I_{Arv} = (ArvPlan / PopRes) * 100\ 000$ <p>I<sub>Arv</sub> - Índice de Número de árvores plantadas anualmente por 100.000 habitantes</p> <p>PopRes- População residente</p>	Nº/ano/ 100000hab
Ocorrências naturais (cheias, inundações, galgamentos, movimentos de vertente) com danos pessoais e materiais	$IONat = OND / ON$ <p>IONat - Valor total de danos por ocorrência</p> <p>OND - Valor total de danos por ano.</p> <p>ON - Total de Ocorrências Naturais por ano.</p>	€/ocorrência



População residente em áreas sujeitas a riscos naturais	<p style="text-align: center;"><b>PopRis: <math>PopRes/ARis (km^2)</math></b></p> <p style="text-align: center;">PopRis - População residente em áreas sujeitas a riscos naturais por <math>km^2</math></p> <p style="text-align: center;"><b>ARis - Área classificada com risco (<math>km^2</math>)</b></p> <p style="text-align: center;">PopRes - População residente</p>	Nº/ $km^2$
---	--	------------

## 8. Referências Bibliográficas

- APA. (2012). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que integram a Região Hidrográfica do Douro (RH3)*.
- Bateira, C., & Soares, L. (1997). Movimentos em massa no norte de Portugal. Factores da sua ocorrência. . *Territorium - Revista de Geografia Física aplicada ao Ordenamento do Território*, 4, 63-77.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., & Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1), 1-10. doi: 10.1016/j.rimni.2012.07.004
- Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., & Jakob, M. (2014). Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*, 518, Part B(0), 194-205. doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.05.022
- Borges, L., & Correia, A. (2003). Escorregamentos de terra e queda de blocos - o exemplo do passeio das Fontainhas (Porto). *Seminário Riscos Geológicos, APG*, 35-36.
- CMP. (2003). *Carta Geotécnica do Porto* (2 ed.). Porto: Câmara Municipal do Porto.
- FLUP. (2015). *Estudo para a identificação de áreas suscetíveis de serem afetadas por cheias urbanas na Cidade do Porto*. . Porto.
- GEG. (2001). *Encosta dos Guindais. Estudo Geológico e Geotécnico*. .
- Magalhães, M., Abreu, M., Lousã, M., & Cortez, N. (2007). *Estrutura Ecológica da Paisagem: conceitos e delimitação - escalas regional e municipal*. Lisboa: Centro de Estudos de Arquitectura Paisagista - "Prof. Caldeira Cabral"; Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa. ISApress.
- Ramos, C. (2009). *Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território (Programa de unidade curricular do 2º Ciclo), Dinâmicas, mudanças ambientais e ordenamento do território*: Centro de Estudos Geográficos/Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Univ. de Lisboa.
- Ramos, C., & Ramos-Pereira, A. (2011). Cheias rápidas em áreas urbanas: o caso de Sacavém *O processo de bolonha e as reformas curriculares da geografia em Portugal*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Ramos, C., Zêzere, J. L., & Reis, E. (2010). *Avaliação da susceptibilidade aos perigos naturais da Região de Lisboa e Vale do Tejo* (Vol. 17). Lisboa: Departamento de Prospectiva e Planeamento e Relações Internacionais,.
- Sá, J. F. F. d. (2013). *Espaços verdes em meio urbano: uma abordagem metodológica com base em serviços de ecossistema*. (Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Urbanismo e Ordenamento do Território), Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Santos, M., Bateira, C., Soares, L., & Hermenegildo, C. (2014). Hydro-geomorphologic GIS database in Northern Portugal, between 1865 and 2010: Temporal and spatial analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10, Part A(0), 143-152. doi: 10.1016/j.ijdr.2014.08.003
- Santos, M., Santos, J. A., & Fragoso, M. (2015). Historical damaging flood records for 1871–2011 in Northern Portugal and underlying atmospheric forcings. *Journal of Hydrology*, 530, 591-603. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.10.011
- Santos, M., Santos, J. A., & Fragoso, M. (2017). Atmospheric driving mechanisms of flash floods in Portugal. *International Journal of Climatology*. doi: 10.1002/joc.5030
- Soares, L., & Bateira, C. (2017). The city of Oporto: geomorphology in a world cultural heritage site. In G. Vieira, J. L. Zêzere, & C. E. Mora (Eds.), *Landscapes and Landforms of Portugal*: Policopiado. Springer International Publishing.
- Zêzere, J. L., Pereira, S., Tavares, A. O., Bateira, C., Trigo, R. M., Quaresma, I., Santos, P. P., Santos, M., & Verde, J. (2014). DISASTER: a GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Natural Hazards*, 1-30. doi: 10.1007/s11069-013-1018-y

***Equipa técnica***



Mónica Santos

Carlos Bateira

Direção Municipal de Urbanismo

Departamento Municipal de Planeamento Urbano

*Divisão Municipal de Planeamento e Ordenamento do Território*

Contacto: [dmpot@cm-porto.pt](mailto:dmpot@cm-porto.pt)

