



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Carla Alexandra Fernandes Duarte

CONTRIBUTO PARA A DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS  
INUNDÁVEIS:  
ESTUDO HIDROLOGICO DA RIBEIRA DE PEDRULHOS NO  
CONCELHO DE TORRES VEDRAS

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, orientada pelo Professor Doutor João Luís Mendes Pedroso Lima (UC) e pelo Professor Doutor Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro (UAlg), apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Setembro de 2022

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra  
Departamento de Engenharia Civil

Carla Alexandra Fernandes Duarte

**CONTRIBUTO PARA A DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS  
INUNDÁVEIS:  
ESTUDO HIDROLOGICO DA RIBEIRA DE PEDRULHOS NO  
CONCELHO DE TORRES VEDRAS**

**CONTRIBUTION TO THE DELIMITATION OF FLOOD-PRONE AREAS:  
HYDROLOGIC STUDY OF PEDRULHOS STREAM IN THE MUNICIPALITY OF  
TORRES VEDRAS**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, orientada pelo Professor Doutor João Luís Mendes Pedroso Lima (UC) e pelo Professor Doutor Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro (UAIG), apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Setembro de 2022



UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

## **AGRADECIMENTOS**

Por detrás da realização deste trabalho esteve o apoio, incentivo e contributo de muitas pessoas às quais gostaria de agradecer.

Em especial quero agradecer ao Professor Doutor João Luís Mendes Pedroso Lima e ao Professor Doutor Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro, meus orientadores, pela disponibilidade e por todo o apoio e partilha de conhecimentos, cuja qualidade é indispensável a qualquer trabalho deste âmbito.

Os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para que fosse possível a realização deste trabalho.

À minha família e amigos pela paciência, incentivo e apoio dado ao longo do meu percurso académico, em especial aos meus pais, pelo incentivo e conselhos dados ao longo da vida.

Ao meu esposo Rui e aos meus filhos Henrique e Diogo por compreenderem as várias horas em que estive ausente por causa do desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

A presente dissertação pretende contribuir para a delimitação das áreas inundáveis da bacia hidrográfica do rio Sizandro no concelho de Torres Vedras, no âmbito do ordenamento do território.

Como estudo de caso, considerou-se a bacia hidrográfica do rio Sizandro, em especial a sub-bacia da ribeira de Pedrulhos (área de cerca de 99 km<sup>2</sup>), situada no concelho de Torres Vedras.

Procedeu-se ao resumo histórico do enquadramento legislativo, da evolução da importância da temática abordada, nomeadamente na delimitação das zonas ameaçadas por cheia.

Foi realizada a caracterização fisiográfica da bacia tendo por base os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Com recurso ao modelo matemático HEC-HMS, construiu-se o modelo da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos, onde se simularam os tempos de concentração e os caudais de cheia.

Dos resultados obtidos realça-se os caudais de ponta, face aos usos dos solos que são fundamentais para a modelação hidráulica e para a obtenção da delimitação das zonas ameaçadas por cheia (ZAC).

Na análise realizada pode-se ainda constatar a importância que a gestão do território tem na resposta da bacia hidrográfica à ocorrência de cheias, pelo que se destaca a necessidade de uma gestão integrada por parte de todos os órgãos de decisão na sua área ou que se situem em áreas com influência direta na bacia hidrográfica nomeadamente a jusante.

Por fim realça-se a importância que os planos de proteção e minimização dos riscos de cheia podem ter na mitigação dos danos provocados pelas cheias e da necessidade de estes se adaptarem a cada caso.

Palavras-chave: modelação hidrológica, caudal de ponta, bacia hidrográfica, Ribeira de Pedrulhos

## **ABSTRACT**

The main goal of this thesis is to contribute to the delimitation of the floodable areas of the Sizandro watershed in the municipality of Torres Vedras, within the scope of spatial planning.

As a case study we considered the watershed of the Sizandro river, especially the sub-basin of the Ribeira de Pedrulhos (area about 99km<sup>2</sup>), situated on the municipality of Torres Vedras.

Proceeded the historical summary of the legislative framework, of the evolution of the importance of the theme addressed, namely in the delimitation of areas threatened by floods.

The physiographic characterization of the basin was carried out based on the Geography Information Systems (GIS).

It was used the mathematic model HEC-HMS to build a model of Ribeira de Pedrulhos watershed, where we were able to compute the concentration times and flood flows.

The results we can highlight are the peak flows, in relation to land uses, which are fundamental to the hydraulic modeling and for obtaining the delimitation of areas threatened by flooding (ZAC).

In the analysis carries out, it is also possible to note the Importance that the management of the territory has in the response of the watershed to the occurrence of floods, therefore the need for an integrated management by all decision-making bodies is crucial in this area or in areas of direct influence in the watershed, namely downstream.

Finally, the importance that flood protection and risk minimization plans can have in mitigating the damage caused by floods is highlighted, as well the need for them to adapt to each case.

Keywords: hydrologic modeling, urbanization, peak flow, watershed, Ribeira de Pedrulhos

---

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Âmbito.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Estrutura do trabalho .....	4
<b>2</b>	<b>LEGISLAÇÃO E ENQUADRAMENTO LEGAL.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>NOÇÕES DE HIDROLOGIA.....</b>	<b>10</b>
3.1	Características fisiográficas das bacias.....	10
3.1.1	Aspetos gerais.....	10
3.1.2	Geométricas .....	10
3.1.3	Relevo.....	13
3.1.4	Hipsometria .....	13
3.1.5	Perfil longitudinal de um rio.....	14
3.1.6	Geologia, solos e coberto vegetal.....	14
3.2	Hidrograma Unitário.....	14
3.2.1	Tempo de concentração ( <i>tc</i> ) .....	15
3.2.2	Número de escoamento ( <i>CN</i> ) .....	17
3.2.3	Hidrograma Unitário Sintético do SCS .....	18
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO – RIO SIZANDRO .....</b>	<b>20</b>
4.1	Caracterização .....	20
4.2	Modelo Digital do Terreno (MDT) .....	24
4.3	Escoamento Superficial .....	26
4.4	Delimitação de sub-bacias .....	28
4.5	Tempo de concentração .....	32
4.6	Número de Escoamento.....	33
4.7	Hietograma .....	39
4.8	Curvas de Intensidade Duração Frequência (IDF) .....	40
4.9	Hidrograma Unitário Sintético (HUS).....	42

---

4.10	Hidrograma de cheia.....	43
4.11	Caudal Ponta.....	44
4.12	Resultados da bacia .....	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Exemplo de bacia alongada ou longitudinal. ....	11
Figura 3.2 – Exemplo de bacia arredonda. ....	11
Figura 3.3 – Exemplo de bacia radial ou ramificada. ....	11
Figura 4.1 - Mapas de localização da bacia do rio Sizandro e da sub-bacia da ribeira de Pedrulhos. ....	20
Figura 4.2 – Rede hidrográfica da região em estudo – Bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ....	21
Figura 4.3 - Perfil longitudinal da ribeira de Pedrulhos. ....	22
Figura 4.4 - Modelo digital do terreno da bacia da ribeira de Pedrulhos com linhas de água. ....	24
Figura 4.5 - Carta de declives da bacia da ribeira de Pedrulhos. ....	25
Figura 4.6 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos, <i>Layer</i> resultante da direção do escoamento. ....	26
Figura 4.7 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos, <i>Layer</i> resultante da acumulação do escoamento. ....	27
Figura 4.8 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos, <i>Layer</i> com segmentos da rede de drenagem. ....	28
Figura 4.9 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. <i>Layer</i> resultante da delimitação das sub-bacias. ....	29
Figura 4.10 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. <i>Layer</i> resultante da definição da rede de drenagem final. ....	30
Figura 4.11 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Tipos de solos (classificação SROA). ....	34
Figura 4.12 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Tipo de solos (classificação SCS). ....	35
Figura 4.13 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Uso e ocupação de solo. ....	36
Figura 4.14 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Número de Escoamento ( <i>CN</i> ) (AMCII). ....	37
Figura 4.15 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Número de Escoamento ( <i>CN</i> ) (AMCIII). ....	38
Figura 4.16 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Hietograma da precipitação em blocos alternados para o período de retorno de 100 anos. ....	40
Figura 4.17 – Postos udográficos existentes em Portugal Continental (retirada de Portela, 2006). ....	41
Figura 4.18 – Hidrograma unitário SCS do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ....	42
Figura 4.19 – Hidrograma da bacia na foz do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ....	43

---

Figura 4.20 – Resultados obtidos pelo HEC-HMS, caudal acumulado do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.....	44
Figura 4.21 – Resultados obtidos no HEC-HMS, caudal ponta na secção de referência.....	44
Figura 4.22 – Resultados obtidos pelo HEC-HMS, do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ....	45

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 – Áreas das sub-bacias do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ....	30
Tabela 4.2 – Características das linhas de água do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ...	31
Tabela 4.3 – Propriedades das sub-bacias do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ....	31
Tabela 4.4 – Características do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ...	32
Tabela 4.5 – Tempo de concentração ( $t_c$ ) do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ....	32
Tabela 4.6 – Tempo de concentração ( $t_c$ ) do estudo de caso das sub-bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ...	33
Tabela 4.7 – Valores de AMCIII para as sub-bacia do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ....	38
Tabela 4.8 – Características do posto udométrico das Curvas IDF.....	40
Tabela 4.9 – Parâmetros das curvas IDF para a estação de S. Julião do Tojal (20C/1).....	41
Tabela 4.10 - Tempo de resposta das sub-bacia do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. ....	42

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Âmbito

As alterações climáticas afetam todas as regiões do mundo. As calotas polares estão a derreter e o nível das águas do mar está a subir. Em algumas regiões, os fenómenos meteorológicos extremos são cada vez mais comuns, originando grandes quedas de precipitação, enquanto outras registam um agravamento das vagas de calor e das secas.

Durante muitos anos os riscos estiveram associados à ocorrência de catástrofes provocadas por desastres naturais de elevada magnitude, que ocorriam em circunstâncias excecionais, e a atitude das instituições envolvidas era, essencialmente, de natureza reativa, através de operações de socorro e de ações de recuperação de danos.

A década de 90 do século XX foi declarada pelas Nações Unidas como Década Internacional para a Redução de Desastres (Catástrofes Naturais), e o paradigma na abordagem dos riscos mudou.

A redução dos riscos passou a ser entendida como essencial para o processo de desenvolvimento sustentável e, assim, a segurança dos indivíduos e comunidades tornou-se central na abordagem e no olhar para esta temática.

Passou a entender-se que os danos causados por um evento não decorrem apenas da magnitude do fenómeno perigoso, mas, também, da capacidade que as comunidades possuem para suportar o seu acontecimento. Passa a ser percebido que os riscos são não só, mas também uma consequência das opções dos gestores políticos no âmbito do planeamento do território e da consequência de problemas de desenvolvimento não resolvidos (IGOT, 2019).

*“O tema da redução dos riscos foi, assim, introduzido com sucesso na agenda política e um número crescente de governos e organizações internacionais passaram a promover a redução de riscos como a única solução sustentável para minimizar os impactos sociais, económicos e ambientais das catástrofes naturais, tecnológicas e ambientais.” (Zêzere et al., 2005).*

Os territórios são afetados por vários perigos naturais e ambientais, identificados e avaliados no âmbito dos instrumentos de gestão territorial, sejam eles ao nível dos planos nacionais, regionais ou municipais.

Ao nível municipal, o Plano Diretor Municipal (PDM) é o instrumento territorial ao nível concelhio que tem vertida toda a informação dos vários perigos naturais e ambientais, identificados e avaliados com probabilidade de ocorrência no território municipal. Com base no PDM, são criados um conjunto de instrumentos de Planeamento de Emergência em Proteção Civil, nomeadamente o Plano Municipal de Emergência em Proteção Civil, o Plano de Intervenção nos Centros Históricos, o Plano de Evacuação da Cidade e o Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios. Os instrumentos referidos têm em vista a definição de um conjunto de opções estratégicas para a prevenção e mitigação dos riscos.

Entre os perigos naturais e ambientais, merecem destaque pela sua incidência espacial e efeitos potenciais atuais e futuros em cenário de alterações climáticas: as cheias e as inundações, as ondas de calor, as tempestades e os incêndios rurais/florestais (IGOT, 2019).

Numa perspetiva hidrogeográfica, as cheias fluviais “*são fenómenos naturais extremos e temporários, provocados por precipitações excessivas que fazem aumentar o caudal dos cursos de água, originando o extravase do leito menor e a inundação das margens e áreas circunvizinhas*” (Zêzere et al., 2005). As inundações consistem na submersão de áreas habitualmente emersas, devido a fenómenos naturais, como as cheias fluviais ou os galgamentos oceânicos da linha de costa na sequência de temporais ou induzidos pela ação humana, como as desencadeadas pela conjugação de chuvas intensas com a impermeabilização das superfícies construídas e sistemas de águas residuais e pluviais inadequados em áreas urbanas.

“*Os principais impactes socioeconómicos das cheias são: cortes em vias de comunicação, sistemas de abastecimento de água e de outros bens, submersão de localidades e monumentos, deslocação e desalojamento das populações, inundação de terras aráveis e destruição de culturas, destruição de estruturas hidráulicas e outras e epidemias.*” (Ramos, 2005).

A redução da vulnerabilidade e da exposição face a este perigo implica conhecer bem o território e as áreas afetadas. Para esse efeito, estabeleceu-se a necessidade de se identificarem as Zonas Ameaçadas por Cheias (ZAC): estas são áreas suscetíveis de inundação devido ao transbordo dos cursos de água; “*as ZAC compreendem a área contígua à margem de um curso de água que se estende até à linha alcançada pela cheia com período de retorno de 100 anos ou pela maior cheia conhecida, no caso de não existirem dados que permitam identificar a cheia centenária.*” (Zêzere et al., 2013).

## 1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivos:

- analisar o comportamento hidrológico bacia hidrográfica, designadamente no que respeita à transformação de precipitações em hidrogramas de cheia, tendo por base sistemas de informação geográfica.
- contribuir para a delimitação de áreas inundadas, através de um estudo de caso, realizando uma análise da precipitação e do escoamento resultante na bacia hidrográfica de ribeira de Pedrulhos, efluente do rio Sizandro, no contexto de situação de cheia.
- obtenção dos caudais máximos de cheia, para a realização da modelação hidrológica e consequentemente a delimitação das zonas ameaçadas por cheia (ZAC).

Foi realizada a caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica e utilizado o sistema de modelação hidrológica (HEC – HMS) versão 3.7 (disponível na internet para utilização livre), desenvolvido pelo *US Army Corps of Engineers*, uma organização do Instituto de Recursos Hídricos especializada nas áreas técnicas de hidrologia de águas superficiais e subterrâneas, hidráulica fluvial e transporte de sedimentos, estatísticas hidrológicas e risco que foi concebido para a modelação hidrológica contínua e de eventos de curta duração, para a determinação do hidrograma de cheia e respetivo caudal de ponta de cheia, para um período de retorno de 100 anos.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

A presente dissertação está organizada em seis capítulos.

O capítulo 1, parcialmente já apresentado, corresponde à introdução ao trabalho, referindo algumas considerações prévias à realização do trabalho, o objetivo deste e, por fim, a estrutura e organização do documento.

No capítulo 2 apresenta-se uma revisão legislativa e o enquadramento legal para o estudo de caso.

No capítulo 3 apresentam-se algumas noções de hidrologia utilizadas na presente dissertação, importantes, nomeadamente, para a estimativa de caudais de cheia.

No capítulo 4 é identificada e caracterizada a bacia hidrográfica que constitui o estudo de caso. Apresentam-se, também, os hietogramas obtidos para a área de estudo e o modelo criado da bacia hidrográfica em estudo usando o HEC-HMS. Por fim, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, nomeadamente os hidrogramas de cheia, os caudais de ponta e os tempos de ponta.

No capítulo 5 são sistematizadas as conclusões retiradas do estudo realizado e sugeridos trabalhos futuros que deem continuidade à análise efetuada.

Finalmente, no capítulo 6, apresentam-se as referências bibliográficas consultadas e referenciadas ao longo do trabalho.

## 2 LEGISLAÇÃO E ENQUADRAMENTO LEGAL

Desde finais do século XIX, o Estado português produziu legislação no domínio dos recursos hídricos, tarefa que veio a ser potenciada com a adesão de Portugal à União Europeia e consequente transposição de diretivas comunitárias, sem que, todavia, tenha ainda existido igual preocupação de unificação e de sistematização.

Os diversos diplomas legais sobre esta matéria e as constantes revogações, de normas conduzem a que atualmente seja difícil abarcar convenientemente todo o quadro normativo.

O Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, tem por objeto os sistemas de distribuição pública e predial de água e de drenagem pública e predial de águas residuais, de modo que seja assegurado o seu bom funcionamento global, preservando-se a segurança, a saúde pública e o conforto dos utentes. Faz parte integrante deste diploma o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais.

O Decreto-Lei n.º 364/98, de 21 de novembro, estabelece a obrigatoriedade de elaboração da carta de zonas inundáveis nos municípios com aglomerados urbanos atingidos por cheias.

O Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de setembro, estabelece as normas e os critérios para a delimitação de perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público, designados por perímetros de proteção, com a finalidade de proteger a qualidade das águas dessas captações.

As captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público de água para consumo humano de aglomerados populacionais com mais de 500 habitantes, ou cujo caudal de exploração seja superior a 100 m<sup>3</sup>/dia, ficam abrangidas pelo disposto no presente diploma para todas as zonas de proteção previstas e definidas nos termos do presente Decreto-Lei. Todas as captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público de água para consumo humano são abrangidas pelo disposto no presente diploma no que diz respeito à delimitação da zona de proteção imediata.

O Decreto-Lei n.º 69/2000, de 3 de maio, que aprova o regime jurídico da Avaliação de Impacte Ambiental, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 85/337/CEE, com as alterações introduzidas pela Diretiva n.º 97/11/CE, do Conselho, de 3 de Março, e que revoga legislação anterior sobre este assunto datada de 1990, tem permitido estabelecer no âmbito do Processo de Avaliação de Impacte Ambiental de aproveitamentos hidráulicos, caudais ecológicos para a minimização dos impactes ambientais gerados.

A Lei n.º 54/2005, de 15 de novembro, estabelece a titularidade dos recursos hídricos, abrangendo as águas e ainda os respetivos leitos e margens, zonas adjacentes, zonas de infiltração máxima e zonas protegidas. Em linhas de água não navegáveis nem fluviáveis, incluindo linhas de água que secam temporariamente, a margem tem a largura de 10m.

A Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro (Lei da Água), transpõe para o ordenamento jurídico nacional a Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro, designada resumidamente por Diretiva Quadro da Água (DQA), estabelecendo as bases para a gestão sustentável das águas interiores, de transição, costeiras e subterrâneas, e o quadro institucional para o respetivo sector, assente no princípio da região hidrográfica como unidade principal de planeamento e gestão. A DQA preconiza uma abordagem abrangente e integrada de proteção e gestão dos recursos hídricos, tendo em vista alcançar o bom estado de todas as massas de água em 2015. A Lei da Água revoga:

- Decreto-Lei n.º 70/90, de 2 de março
- Decreto-Lei n.º 45/94, de 22 de fevereiro;
- Decreto-Lei n.º 46/94, de 22 de fevereiro;
- Decreto-Lei n.º 47/94, de 22 de fevereiro;
- Decreto-Lei n.º 254/99, de 7 de julho.

A transposição da DQA foi complementada pelo Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de março, que faz alterações significativas ao modelo institucional de gestão dos recursos hídricos, instituindo o Instituto da Água, I.P., como Autoridade Nacional da Água e criando as Administrações de Região Hidrográfica (ARH), como organismos regionais responsáveis pelo licenciamento e fiscalização das utilizações dos recursos hídricos.

O Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio, estabelece o regime da utilização dos recursos hídricos. O novo regime tem também preocupações de simplificação administrativa, encetando mecanismos que visam tornar mais célere a atribuição de títulos de utilização. Ao lado das figuras da concessão e da licença, é introduzida a figura da autorização para algumas utilizações de recursos hídricos particulares, tais como construções, implantação, demolição, alteração ou reparação de infraestruturas hidráulicas e captação de águas. O pedido de autorização pode ser tacitamente diferido decorrido um prazo de 2 meses contado desde a apresentação do pedido e verificadas as condições para a utilização. A autorização pode ser substituída por uma mera comunicação prévia às autoridades competentes, quando estejam em causa captações de água com potência igual ou inferior a 5 CV, ou nos casos previstos nos regulamentos dos planos de gestão de bacia ou nos planos especiais de ordenamento do território aplicáveis. De um modo geral, adota-se o recurso aos meios informáticos como método de agilização da tramitação

procedimental e desloca-se a obrigação de obter informação detida por autoridades públicas para a esfera da administração. Uma outra importante inovação é a introdução da possibilidade de transacionar títulos entre utilizadores de uma mesma bacia hidrográfica, desde que, entre outros requisitos, o respetivo plano de bacia preveja essa possibilidade e não esteja em causa o abastecimento público. Finalmente, é criado o Sistema Nacional de Informação dos Títulos de Utilização dos Recursos Hídricos, passando as entidades competentes para a emissão dos títulos de utilização a estar obrigadas a proceder ao seu registo. Este sistema, permanentemente atualizado, permitirá melhorar o desempenho da administração da água.

O Decreto-Lei n.º 347/2007, de 19 de outubro, aprova a delimitação georreferenciada das regiões hidrográficas.

A Resolução da Comissão Nacional de Proteção Civil n.º 25/2008, refere que todos os municípios devem estar munidos de Planos Municipais de Emergência de Proteção Civil de acordo com as normas definidas por esta deliberação.

O Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de outubro, transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/118/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de dezembro, que estabelece o regime de proteção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração.

**O Despacho n.º 18313/2009, de 7 de agosto**, determina a elaboração do plano de gestão das bacias hidrográficas que integram a região hidrográfica do Vouga, Mondego, Lis e **Ribeiras do Oeste (RH4)**.

A Portaria n.º 1284/2009, de 19 de outubro, estabelece o conteúdo dos planos de gestão de bacia hidrográfica.

**O Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro**, transpõe para a ordem jurídica interna a **Diretiva n.º 2007/60/CE**, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro, de **avaliação e gestão dos riscos de inundações, com o objetivo de reduzir as suas consequências prejudiciais para a saúde humana, incluindo perdas humanas, o ambiente, o património cultural, as infraestruturas e as atividades económicas**.

Este diploma estabelece a obrigatoriedade de elaboração, de cartas de zonas inundáveis para áreas de risco potencial significativo, com a identificação de cenários de probabilidades de inundação - elevada, quando associada a períodos de retorno inferiores a 100 anos; média, quando associada a períodos de retorno de 100 anos; ou baixa, para ocorrências ou cenários associados a fenómenos extremos. Para cada um destes cenários devem ser indicados: as áreas inundadas, a profundidade de água (cotas) ou níveis de água (nível hidrométrico), o caudal de

cheia e cartas de riscos de inundações (ordem de grandeza do número de pessoas afetadas, atividades económicas afetadas e instalações abrangidas pela Diretiva Europeia 96/61/CE do Conselho de 24 de Setembro de 1996 - Diretiva Prevenção e Controlo Integrado de Poluição até 22 de Dezembro de 2013, devendo igualmente ser elaborados, para cada região hidrográfica ou unidade de gestão, planos de gestão de riscos de inundações para determinadas zonas (centrados na prevenção, proteção e preparação; definição de objetivos e respetivas medidas, privilegiando as iniciativas não estruturais de redução da probabilidade de inundação) até 22 de Dezembro de 2015 (Brito, 2013).

Em cada região hidrográfica, importa proceder à avaliação preliminar do risco de inundação e à necessidade de serem estabelecidas medidas suplementares para a sua mitigação, pelo que os planos de gestão de bacias hidrográficas assumem um papel relevante neste domínio, nomeadamente quanto à articulação de políticas de planeamento e gestão ao nível da região hidrográfica. Por outro lado, os instrumentos de gestão territorial de natureza estratégica são fundamentais para uma adequada ponderação e articulação ao fenómeno das cheias, bem como em relação à gestão do risco de inundações, sem prejuízo da necessária articulação dos instrumentos de prevenção destes fenómenos como **Planos Distritais e Municipais de Emergência** e as Diretivas Operacionais de Proteção Civil. A fim de evitar e reduzir os impactos negativos das inundações nas zonas em causa, devem igualmente ser elaborados planos de gestão dos riscos de inundações, centrados na prevenção, proteção, preparação e previsão destes fenómenos. Em termos globais, descrevem-se os instrumentos técnicos, de planeamento e gestão, a considerar na implementação da Diretiva relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações.

De acordo com a Resolução do Conselho de Ministros nº 81/2012, de 3 de outubro e a respetiva declaração de retificação nº 71/2012, de 30 de novembro, considera-se como **zonas ameaçadas pelas cheias (ZAC)** ou zonas inundáveis as áreas suscetíveis de inundação por transbordo de água do leito dos cursos de água devido à ocorrência de caudais elevados. Não estão incluídas nesta tipologia as áreas suscetíveis de inundação motivada por outros fenómenos, como por exemplo tsunamis, rotura de barragens ou diques e fusão de neve ou gelo. De igual modo, as inundações decorrentes exclusivamente de deficiências na drenagem de águas pluviais não devem ser incluídas nas ZAC, pelo facto de não estarem associadas ao transbordo de um curso de água.

O **Plano Nacional da Água (PNA)**, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 76/2016, de 9 de novembro, o qual se constitui como um instrumento **enquadrador das políticas de gestão de recursos hídricos nacionais**, dotado de visão estratégica de gestão dos recursos hídricos e assente numa lógica de proteção do recurso e de sustentabilidade do desenvolvimento socioeconómico nacional.

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 22-A/2016, de 20 de setembro, republicada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 22-A/2016, de 18 de novembro, aprova os Planos de Gestão de Riscos de Inundações para o período 2016-2021.

É neste enquadramento que, ao abrigo do disposto no Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro, foram elaborados os Planos de Gestão de Riscos de Inundação (PGRI) para as regiões hidrográficas (...) do Tejo e Ribeiras do Oeste, também designada por RH5 (...).

Os Planos foram desenvolvidos com base na melhor informação existente e disponível, nacional e internacional, nomeadamente o conjunto de documentos-guia elaborados no âmbito da Estratégia Comum Europeia para a Implementação da Diretiva 2007/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2007. Na Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste - RH5 foram definidas quatro zonas críticas, três localizadas na bacia hidrográfica do rio Tejo e **uma nas bacias hidrográficas das Ribeiras do Oeste**, designadas como Abrantes, Santarém, Vila Franca Xira (rio Tejo), Loures e Odivelas (rio Trancão, afluente do rio Tejo), **Torres Vedras (rio Sizandro)**, Tomar (rio Nabão, afluente do rio Zêzere, e este afluente do rio Tejo). Abrangem os concelhos de Abrantes, Santarém, Constância, Vila Nova da Barquinha, Torres Novas, Golegã, Chamusca, Alpiarça, Almeirim, Cartaxo, Azambuja, Salvaterra de Magos, Alenquer, Benavente, Vila Franca de Xira, Loures, Odivelas, **Torres Vedras**, Tomar, Entroncamento e Mafra e as medidas são definidas para toda a área de drenagem destas zonas.

A Portaria n.º 336/2019 de 26 de setembro, alterada pela Portaria n.º 264/2020 de 13 de novembro, aprova a revisão das Orientações Estratégicas Nacionais e Regionais previstas no Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional (REN).

As orientações estratégicas de âmbito nacional e regional asseguram a articulação com os instrumentos de política e estratégias relevantes, nacionais e comunitários. Em particular, garante-se a convergência entre figuras com as mesmas definições e ou objetivos, consagradas noutros instrumentos legais, regimes específicos ou no léxico científico, visando, por um lado, evitar a multiplicação de delimitações com a mesma finalidade e, por outro, contribuir para a economia de meios na ação administrativa e para a simplificação e coerência dos vários procedimentos que são desenvolvidos nesse âmbito.

A delimitação das tipologias da REN articula-se com a Lei da Água e diplomas complementares, com o Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro (sobre a avaliação e gestão dos riscos de inundações, com o objetivo de reduzir as consequências prejudiciais), e com os instrumentos de gestão territorial de natureza especial, nomeadamente da orla costeira, de albufeiras de águas públicas e de estuários, quando se trate de áreas com objetivos de proteção equivalentes.

### **3 NOÇÕES DE HIDROLOGIA**

Neste capítulo apresenta-se algumas noções de hidrologia que se consideraram mais relevantes para o desenvolvimento do trabalho. Assim, vão ser abordados os temas: características das bacias (fisiográficas, geométricas, relevo, hipsometria), perfil do rio, geologia, solos e coberto vegetal, tempo de concentração, número de escoamento e hidrograma unitário.

#### **3.1 Características fisiográficas das bacias**

##### **3.1.1 Aspetos gerais**

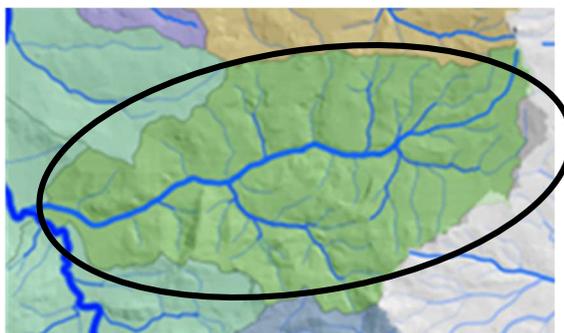
Consideram-se características fisiográficas de uma bacia hidrográfica, aqueles elementos que podem ser retirados a partir de cartas, fotografias aéreas, imagens de satélite e campanhas de campo.

Hidrologicamente interessa caracterizar a bacia em termos geométricos, relativamente ao sistema de drenagem e ao relevo. Considera-se de igual importância os aspetos condicionantes do comportamento hidrológico da bacia, como por exemplo, a sua constituição geológica, o tipo de solos presentes e cobertura vegetal predominante. A caracterização assim efetuada permite encontrar afinidades entre as diferentes bacias hidrográficas e, conseqüentemente, regionalizar alguns dados e parâmetros hidrológicos.

##### **3.1.2 Geométricas**

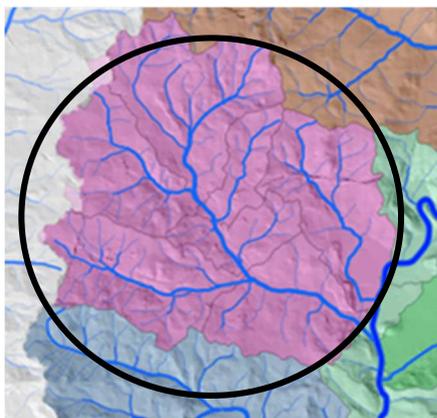
A principal característica geométrica a considerar é a área de drenagem (A). Esta deve resultar da projeção horizontal da bacia uma vez definidos os respetivos contornos. A área é normalmente expressa em quilómetros quadrados ou hectares. A caracterização da forma das bacias hidrográficas prende-se com a sua maior ou menor propensão a concentrar o escoamento superficial em resposta à ocorrência de precipitações intensas. A forma planimétrica da bacia pode exercer grande influência no regime do curso de água, principalmente nos caudais de cheia.

Uma bacia alongada ou longitudinal é constituída por uma única linha de água principal, de grande desenvolvimento, mas de pequena largura, recebendo linhas tributárias de pequena importância.



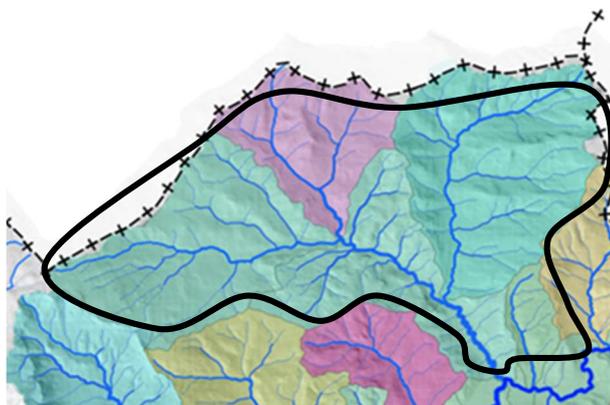
**Figura 3.1** – Exemplo de bacia alongada ou longitudinal.

Uma bacia arredondada é formada por várias linhas de água de importância sensivelmente igual que se reúnem concentricamente para dar origem a uma linha de água final, relativamente curta.



**Figura 3.2** – Exemplo de bacia arredonda.

Uma bacia radial ou ramificada apresenta várias bacias parciais alongadas que se reúnem numa linha de água final.



**Figura 3.3** – Exemplo de bacia radial ou ramificada.

Verificando-se a igualdade de todas as outras condições, o caudal de ponta de cheia das bacias mais alongadas será menor do que o das bacias mais arredondadas.

Nas bacias arredondadas a concentração das águas faz-se mais rapidamente, dando origem a um caudal de ponta de cheia maior, embora o hidrograma de escoamento direto tenha menor duração.

Numa bacia arredondada a ocorrência de eventos de cheias é mais acentuada já que a forma favorece a maior concentração do escoamento, em contraponto ao que se passa se a bacia for alongada.

No sentido de quantificar a forma das bacias, pode recorrer-se a alguns índices quantitativos:

**Índice de compacidade (ou índice de Gravelius),  $Kc$**  - relação entre o perímetro da bacia (em km),  $P$ , e o perímetro de uma bacia com igual área (em  $\text{km}^2$ ),  $A$ , mas, com forma circular. A área e o perímetro da bacia circular serão respetivamente,  $A = \pi r^2$  e  $P = 2\pi r$ , logo:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi \times A}}$$

Este coeficiente é adimensional não dependendo o seu valor do tamanho da bacia. No mínimo é igual à unidade o que corresponderia estarmos na presença de uma bacia circular. Por isso, e em igualdade dos restantes fatores, a tendência para grandes cheias é mais marcada em bacias com  $Kc$  próximos da unidade. Valores de  $Kc$  iguais ou inferiores a 1.128 traduzem, geralmente, bacias arredondadas.

**Fator de alongamento,  $KL$**  - considerando um retângulo equivalente à bacia em estudo, este fator traduz a relação entre o comprimento,  $Le$ , e a largura,  $le$ , desse mesmo retângulo equivalente; a bacia é considerada alongada para valores superiores a 2.

$$KL = \frac{Le}{le}$$

Com:

$$Le = \frac{Kc \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left| 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2} \right|$$

$$le = \frac{Kc \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left| 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{Kc}\right)^2} \right|$$

**Fator de forma,  $Kf$**  - traduz a relação entre a largura média,  $l$ , e o comprimento da bacia,  $L_b$ . A largura média da bacia é definida pela razão entre o comprimento da bacia e a sua área,  $A$ . Assim,  $Kf$  será:

$$Kf = \frac{l}{L_b} = \frac{A}{L_b^2}$$

Uma bacia com um fator de forma baixo encontra-se menos sujeita à ocorrência de cheias, que outra do mesmo tamanho, mas com um fator de forma maior, já que na bacia alongada a probabilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo a totalidade da bacia é pequena. Por outro lado, em tal bacia, a contribuição de cada um dos afluentes chega ao curso de água principal e conseqüentemente à secção de referência, em tempos desencontrados atenuando, assim, os picos de escoamento. No limite  $Kf$  será igual a 1 (um), correspondendo a uma bacia quadrada.

### 3.1.3 Relevo

O relevo corresponde às variações que se verificam à superfície da Terra. As principais características de uma bacia, neste aspeto em particular, são a declividade da bacia, a altitude média e a declividade do rio principal. A temperatura, precipitação e evaporação assumem valores variáveis em função da altitude da bacia e a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, isto mostra a importância e a necessidade de caracterizar o relevo na medida em que influencia significativamente os fatores hidrológicos.

### 3.1.4 Hipsometria

A caracterização hipsométrica de uma bacia hidrográfica passa pela quantificação das áreas por classes de altitudes, estabelecendo, assim, a distribuição das respetivas frequências altimétricas. Atualmente, com recurso à cartografia digital e às ferramentas associadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o estudo da hipsometria dos terrenos passou a ser facilitado.

### **3.1.5 Perfil longitudinal de um rio**

O perfil longitudinal do curso de água relaciona, em cada ponto, as cotas do seu leito com a distância do ponto à foz. No traçado gráfico do perfil longitudinal, quando existem, é usual assinalar as obras hidráulicas mais relevantes (barragens, açudes, confluências, etc.). A velocidade de escoamento de um rio depende, fundamentalmente, da inclinação do talvegue, quanto maior a inclinação do talvegue maior será a velocidade da água.

### **3.1.6 Geologia, solos e coberto vegetal**

As características geológicas da bacia condicionam fortemente a geração da rede de drenagem, o tipo de solo presente e, conseqüentemente, a distribuição e o movimento da água na bacia.

O regime de escoamento da bacia, em igualdade de outros fatores, é tanto mais constante quanto maior for a permeabilidade dos seus solos e formações geológicas (porque é favorecido o armazenamento nos aquíferos) e, pelo contrário, mais irregular, com hidrogramas caracterizados por picos acentuados em resposta à precipitação, quando a permeabilidade é baixa.

As características dos solos que mais condicionam o movimento da água na bacia são a capacidade de infiltração (geralmente crescente com a granulometria) e a capacidade de retenção (geralmente crescente com a diminuição da granulometria).

A consideração do coberto vegetal da bacia e do uso do solo, fatores que condicionam fortemente o escoamento e a infiltração, têm também grande importância na análise do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas.

## **3.2 Hidrograma Unitário**

O hidrograma unitário para uma dada bacia hidrográfica pode ser estabelecido pelo recurso a métodos diretos ou indiretos. O estabelecimento de hidrogramas unitários a partir de métodos diretos só é possível se existirem, tanto registos dos hidrogramas de cheia, como registos dos hidrogramas de precipitação que estiveram na sua génese. Caso estes registos de suporte não existam, o estabelecimento de hidrogramas unitários passa pela utilização de métodos indiretos. Estes métodos indiretos recorrem à aplicação de hidrogramas unitários sintéticos, que não requerem o uso de registos hidrométricos, suportando-se, antes, em características fisiográficas das bacias hidrográficas para as quais se pretendam estabelecer os hidrogramas unitários.

Para o efeito e em termos de modelo de transformação de hietogramas da precipitação efetiva em hidrogramas de cheias correspondentes ao escoamento direto, é recorrente a aplicação do modelo do hidrograma unitário (HUS) do *Soil Conservation Services* (SCS) que, em estudos antecedentes, desenvolvidos no âmbito de outros planos de bacias hidrográficas, se revelou adequado ao objetivo não requerendo, simultaneamente, dados hidrológicos para além dos usualmente disponíveis.

### 3.2.1 Tempo de concentração ( $t_c$ )

Uma das características fundamentais de uma bacia hidrográfica, em termos de análise de cheias, é o tempo de concentração.

O tempo de concentração de uma bacia,  $t_c$ , é o tempo necessário para que toda a sua área contribua para o escoamento superficial na secção de saída; também pode ser definido como o tempo necessário para que uma gota de água caída no ponto hidráulicamente mais afastado da bacia chegue à secção de saída. É considerado como uma característica constante da bacia, independentemente das características da precipitação.

Os tempos de concentração,  $t_c$ , são calculados, para inúmeras secções da rede de drenagem, sendo que é necessário proceder à seleção prévia e criteriosa da fórmula a aplicar para o efeito.

Para tanto, selecionaram-se as fórmulas de *Kirpich* (*Chow et al., 1988*), *NERC* (*Natural Environment Research Council, 1975*), *Temez* (*Temez, 1978*), *Giandotti* e de *SCS* (*Soil Conservation Service*), respetivamente definidas pelas seguintes equações:

#### Fórmula de Kirpich

$$T_c = 0.0663 L^{0.77} d_m^{-0.385}$$

Em que  $t_c$ , é o tempo de concentração da bacia (h);  $L$  o comprimento da linha de água principal (km) e  $d_m$  o declive médio da linha de água principal a montante da secção de referência (m/m).

⇒ Esta expressão aplica-se sobretudo a bacias rurais com canais bem definidos e declives compreendidos entre 3% e 10%. O tempo de concentração deverá ser multiplicado por 0.4 em superfícies asfaltadas ou 0.2 em canais de betão.

### Fórmula do National Environment Research Council (NERC)

$$T_c = 2.8 \left( \frac{L}{\sqrt{d_{10-85}}} \right)^{0.47}$$

Em que  $t_c$ , é o tempo de concentração da bacia (h);  $L$  o comprimento da linha de água principal (km) e  $d_{10-85}$  o declive da linha de água principal entre 10% e 85% do seu comprimento (m/km).

⇒ Esta expressão aplica-se sobretudo a bacias pequenas, de até 25 km<sup>2</sup>

### Fórmula de Témez

$$T_c = 0.3 \left( \frac{L}{d_m^{0.25}} \right)^{0.76}$$

em que  $t_c$  é o tempo de concentração da bacia (h);  $L$  o comprimento da linha de água principal (km) e  $d_m$  o declive médio da linha de água principal a montante da secção de referência (m/m).

⇒ A fórmula de *Témez* foi testada em bacias americanas e espanholas com áreas até 3000 km<sup>2</sup>. obtendo-se resultados próximos da realidade.

### Fórmula de Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L}{0.8 \sqrt{H_m}}$$

em que  $t_c$  é o tempo de concentração da bacia (h);  $L$  o comprimento da linha de água principal (km) e  $H_m$  a altura média da linha de água principal (m/m).

⇒ Esta expressão deverá ser aplicada a grandes bacias hidrográficas naturais, pois quando aplicada a pequenas bacias o valor do tempo de concentração é sobrestimado.

⇒ Em conjunto com a fórmula de *Temez* são as mais usadas em Portugal.

### Fórmula de SCS (*Soil Conservation Service*)

$$T_c = \frac{100}{0.3048^{0.8}} \times \frac{L^{0.8} \times \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1900 \times S_m^{0.5}}$$

em que  $t_c$  é o tempo de concentração da bacia (min);  $L$  o comprimento da linha de água principal (m) e  $S_m$  é o declive médio da bacia hidrográfica (%) e  $CN$  é o número de escoamento na bacia hidrográfica.

⇒ A expressão anterior, foi desenvolvida para a partir de dados para bacias agrícolas. É indicada para ser utilizada em bacias rurais com área inferior a 8 km<sup>2</sup>.

A pré-seleção das anteriores fórmulas, de entre tantas outras fórmulas possíveis para o cálculo de *t<sub>c</sub>*, decorreu do facto de apenas fazerem intervir características das bacias hidrográficas e dos cursos de água facilmente mensuráveis a partir de bases cartográficas disponíveis.

Os tempos de concentração relativos às secções de referência da bacia hidrográfica objeto de estudo são apresentados no subcapítulo 4.5.

### 3.2.2 Número de escoamento (CN)

O parâmetro *curve number* (número de escoamento, número de curva ou *CN*) é amplamente usado para estimar perdas de precipitação e, logo, precipitações efetivas e escoamento direto, contemplando o efeito do tipo e uso do solo. Consequentemente e apesar de não ser explicitamente incluída a infiltração, o método atende de forma indireta a esse processo (*Lewis e Viessman, 1995*).

O número de escoamento (*CN*) descreve a potencialidade da bacia hidrográfica em gerar escoamento superficial, sendo um valor compreendido entre 0 e 100, representando os seus limites inferior e superior, respetivamente, solos com elevada condutividade hidráulica ou totalmente impermeáveis.

Para a aplicação da equação do tempo de concentração segundo o método do SCS é necessário determinar do número do escoamento (*CN*).

O *Soil Conservation Service* (SCS), classifica os solos quanto à tipologia hidrológica em quatro grupos (*Lencastre e Franco, 2010*):

- **tipo A** (baixo potencial de escoamento superficial), solos com elevada transmissividade, caracterizando-se pela elevada capacidade de infiltração mesmo quando completamente humedecidos. Incluem-se principalmente, neste tipo, areias profundas com drenagem boa ou excessiva;
- **tipo B** (potencial de escoamento superficial abaixo da média), este tipo de solos possuem uma transmissividade média, caracterizando-se por intensidades de infiltração moderadas, quando completamente humedecidos. Incluem-se neste tipo, solos medianamente profundos, com textura moderadamente fina e moderadamente grosseira e medianamente drenadas;
- **tipo C** (potencial de escoamento superficial acima da média), solos que possuem uma transmissividade baixa, caracterizando-se por baixas intensidades de infiltração quando

totalmente humedecidos. Este tipo corresponde essencialmente a solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina;

- **tipo D** (potencial de escoamento superficial elevado), este tipo de solos possuem uma transmissividade muito baixa, sendo caracterizados por intensidades de infiltração muito baixas quando completamente humedecidos. São exemplo deste tipo, solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade.

Os números de escoamento (*CN*), para os diferentes tipos de solo e para as condições de humidade AMC-II (situação média na época de cheias) e para as diferentes utilizações do solo segundo o *Soil Conservation Service*, podem ser consultados em (*Lencastre e Franco, 2010*)

Outro fator que influencia o número de escoamento são as condições antecedentes de humidade (*Antecedent Moisture Conditions – AMC*), que afetam o escoamento superficial pois a retenção de água por parte da bacia é alterada. A retenção superficial que resulta da precipitação capturada pelos obstáculos/singularidades que nela se encontram, sejam eles árvores, pedras, poças e estruturas criadas pelo Homem, reflete-se no número de escoamento, conforme a tabelas adaptadas de (*Mata-Lima, 2007*).

O número de escoamento depende ainda das condições antecedentes de humidade do solo, AMC (do inglês “*antecedent moisture condition*”), sendo que o *Soil Conservation Service* distingue três condições, (*Mata-Lima, 2007*).

- AMC-I (solos secos), a precipitação registada nos últimos cinco dias não ultrapassou os 15 mm;
- AMC-II (situação média na época de cheias), a precipitação registada nos últimos cinco dias encontra-se entre 15 mm e 40 mm;
- AMC-III (solo húmido), a precipitação registada nos últimos cinco dias foi superior a 40 mm;

O cálculo dos números de escoamento (*CN*) relativos à bacia hidrográfica objeto de estudo são apresentadas no subcapítulo 4.6.

### 3.2.3 Hidrograma Unitário Sintético do SCS

O hidrograma unitário sintético (HUS) do *Soil Conservation Service* (SCS), desenvolvido por *Mockus* em 1957 (*Lewis e Viessman, 1995*), resultou da análise de cheias num conjunto alargado de bacias hidrográficas para a obtenção dos seus parâmetros. Visto cada bacia ter características fisiográficas específicas, o modelo só será válido para bacias hidrográficas com características morfológicas e hidrológicas que promovam comportamentos em condições de cheias similares. Isto é, nas bacias onde seja possível extrapolar o seu comportamento hidrológico para outras bacias de características morfológicas e hidrológicas semelhantes. Não

obstante o anterior aspeto, o modelo do hidrograma unitário sintético do Soil Conservation Service é amplamente utilizado na análise de cheias em Portugal Continental.

O hidrograma unitário sintético do SCS é um hidrograma curvilíneo adimensional. Este hidrograma adimensional teve origem na perceção, para as bacias em que foi desenvolvido, que 37,5% do volume da cheia ocorria até se atingir o instante correspondente ao caudal de ponta e que os tempos de base dos hidrogramas de cheia, aproximavam-se do quádruplo dos instantes de ocorrência dos caudais de ponta de cheia.

Com efeito, o instante de ocorrência do caudal de ponta do hidrograma unitário do SCS resulta da seguinte igualdade:

$$t_p = \frac{D}{2} + T_{Lag}$$

em que  $D$  representa a discretização temporal do hidrograma de precipitação efetiva e  $t_{Lag}$  o tempo de *Lag* ou tempo de atraso, definido como o intervalo de tempo que decorre entre o centro de gravidade do hidrograma de precipitação efetiva e o instante de ocorrência do caudal de ponta. Estudos do SCS conduziram a que, na generalidade dos casos, o tempo de atraso seja aproximado por 60% do tempo de concentração da bacia hidrográfica:

$$T_{Lag} = 0.6 t_c$$

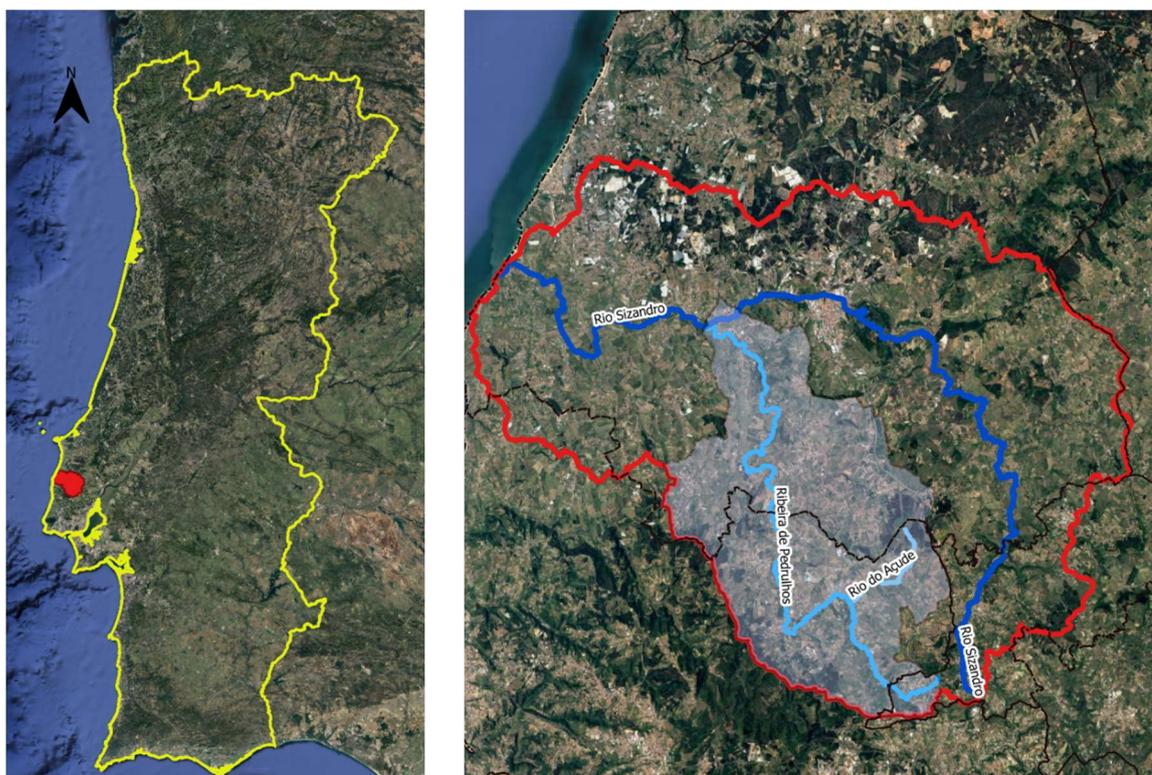
Quando a metodologia do hidrograma unitário sintético do SCS é aplicada em ambiente HEC-HMS, a duração é fixada automaticamente pelo programa, independentemente do utilizador aquando da definição dos hidrogramas de projeto. Efetivamente o programa atribui à duração em causa o intervalo de tempo indicado pelo utilizador para a apresentação das sucessivas ordenadas dos hidrogramas de cheias a determinar.

## 4 ESTUDO DE CASO – RIO SIZANDRO

No presente capítulo é identificada e caracterizada a bacia hidrográfica que constitui o estudo de caso. Apresentam-se, também, os hietogramas obtidos para a área de estudo e o modelo criado para a bacia hidrográfica. Por fim, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, nomeadamente os hidrogramas de cheia, os caudais de ponta e os tempos de ponta.

### 4.1 Caracterização

O rio Sizandro tem a sua nascente à cota altimétrica de 301.3 m em Sizandros, na zona da Sapataria, no concelho de Sobral de Monte Agraço, tendo uma extensão de cerca de 46.17 km, que abrange os concelhos de Torres Vedras (75%), de Mafra (17%) e de Sobral de Monte Agraço (8%). O rio Sizandro atravessa o concelho de Torres Vedras, passando por Dois Portos, Runa, Torres Vedras, Ponte do Rol, e com a sua foz na Praia Azul. Este rio domina uma bacia hidrográfica de 334.44 km<sup>2</sup> (Figura 4.1).

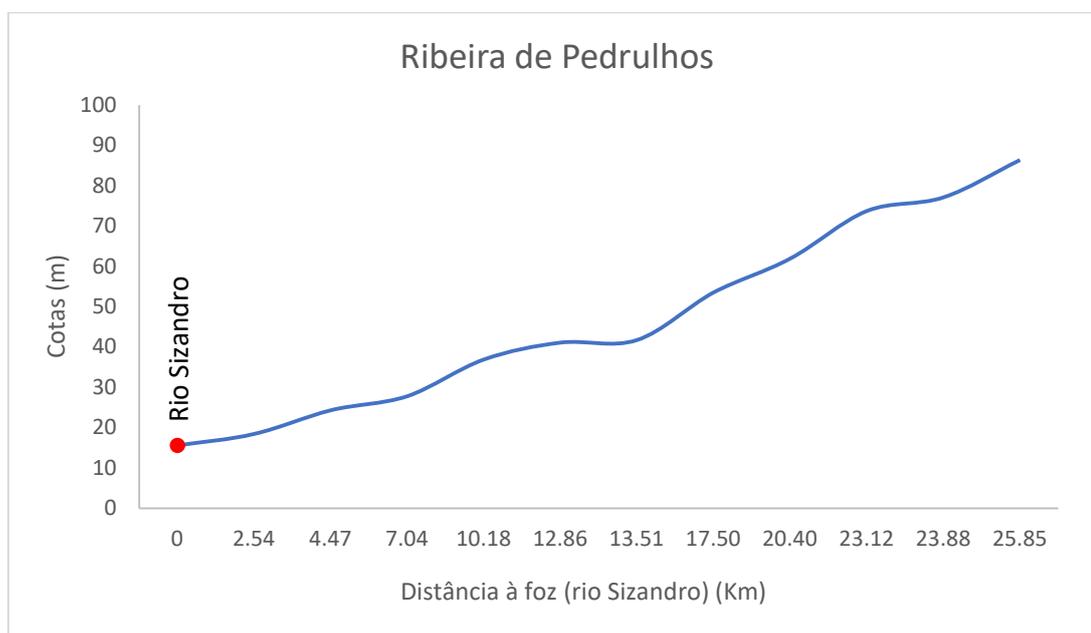


**Figura 4.1** - Mapas de localização da bacia do rio Sizandro e da sub-bacia da ribeira de Pedrulhos.



Para caracterizar o comportamento da bacia hidrográfica, é importante analisar o perfil longitudinal do curso de água principal, uma vez que o escoamento é influenciado predominantemente pelo declive do curso de água.

A nascente da ribeira de Pedrulhos, encontra-se à cota máxima de 86.40 m, e na sua foz interceta o rio Sizandro à cota 15.60 m. Na Figura 4.3, é apresentado o perfil longitudinal da ribeira de Pedrulhos.



**Figura 4.3** - Perfil longitudinal da ribeira de Pedrulhos.

No perfil longitudinal do curso de água principal pode-se observar que os declives são relativamente moderados, sem grandes variações, embora menores no troço de jusante, o que determina que o escoamento dos caudais de cheia é torrencial em quase todo o percurso.

Para caracterizar escoamento turbulento do canal o programa HEC-HMS, utiliza a fórmula de Gauckler-Manning, que para leitos de natureza “*Terra irregular com vegetação, cursos de água regulares em leitos rochosos*” atribui o valor de K de 35 ( $m^{1/3}s^{-1}$ ) (Quintela, 2005).

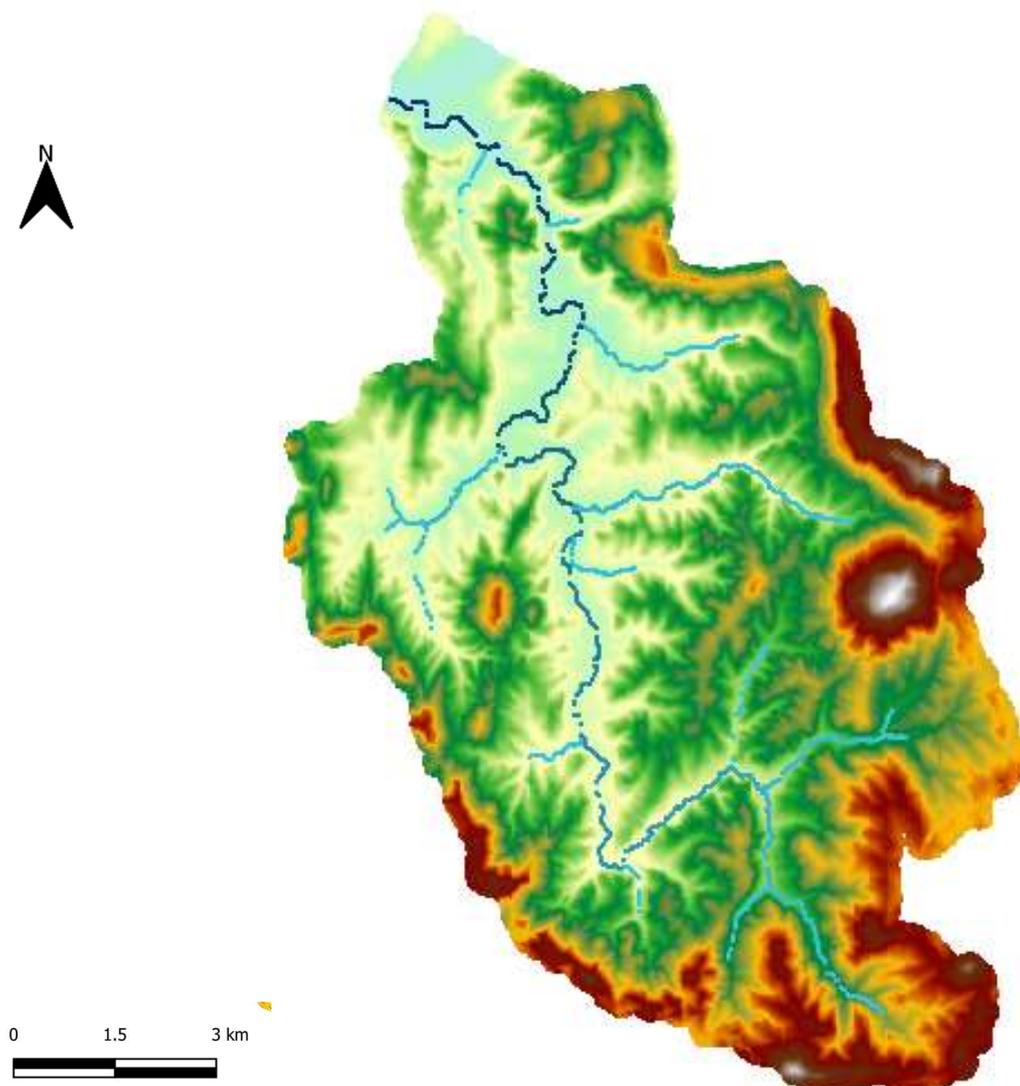
Como amostragem do canal nos vários troços da Ribeira de Pedrulhos, foi realizada uma visita de campo para constatação e validação das características conforme imagens:



**Imagem 4.1** - Ribeira de Pedrulhos: Foz, Figueiras, Casal do Infesto, Freixofeira, Cancira Nova, Bandalhocira, Vermoeira, Gradil, Vila Pouca

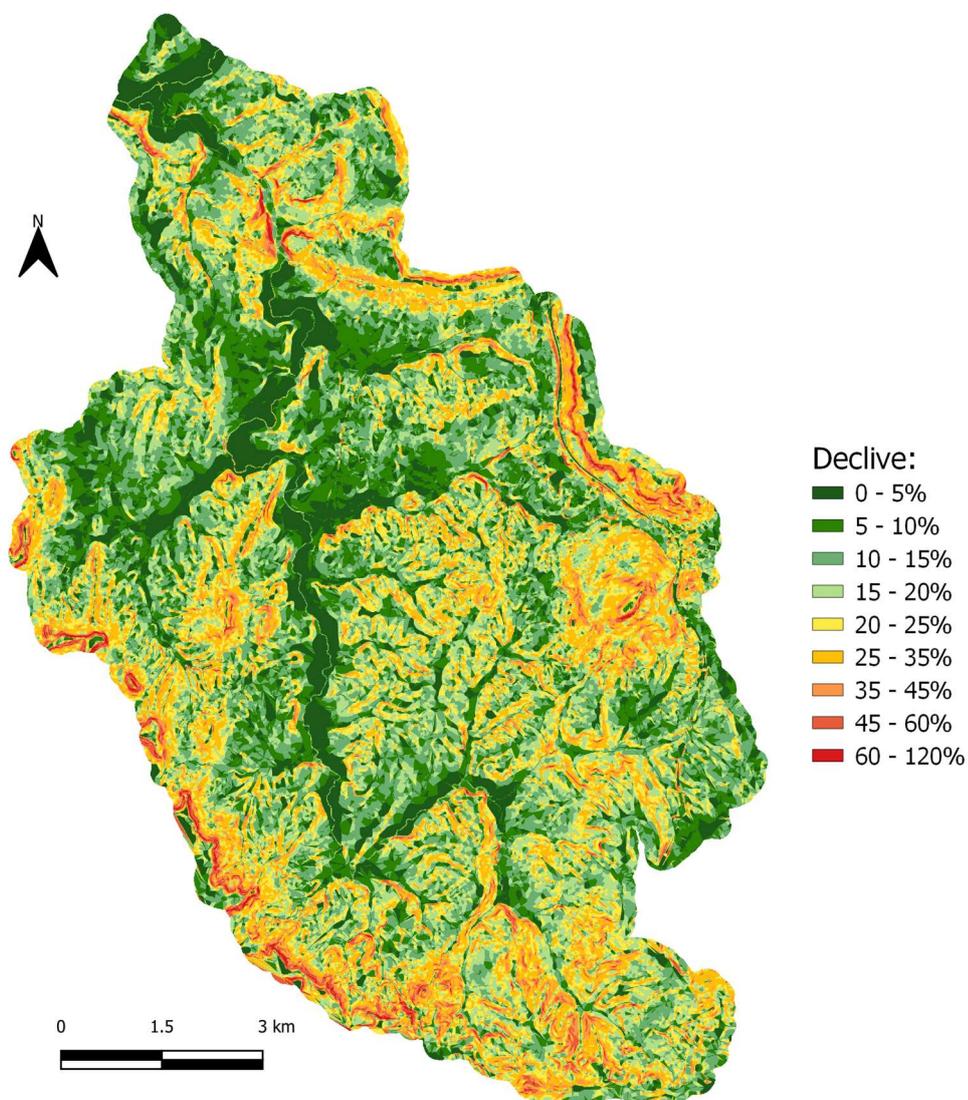
## 4.2 Modelo Digital do Terreno (MDT)

A obtenção do Modelo Digital do Terreno (MDT), foi realizada com recurso aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e à cartografia digital (Figura 4.4).



**Figura 4.4** - Modelo digital do terreno da bacia da ribeira de Pedrulhos com linhas de água.

Com o MDT e as ferramentas associadas aos SIG, foi produzida a carta de declives da bacia da ribeira de Pedrulhos (Figura 4.5).

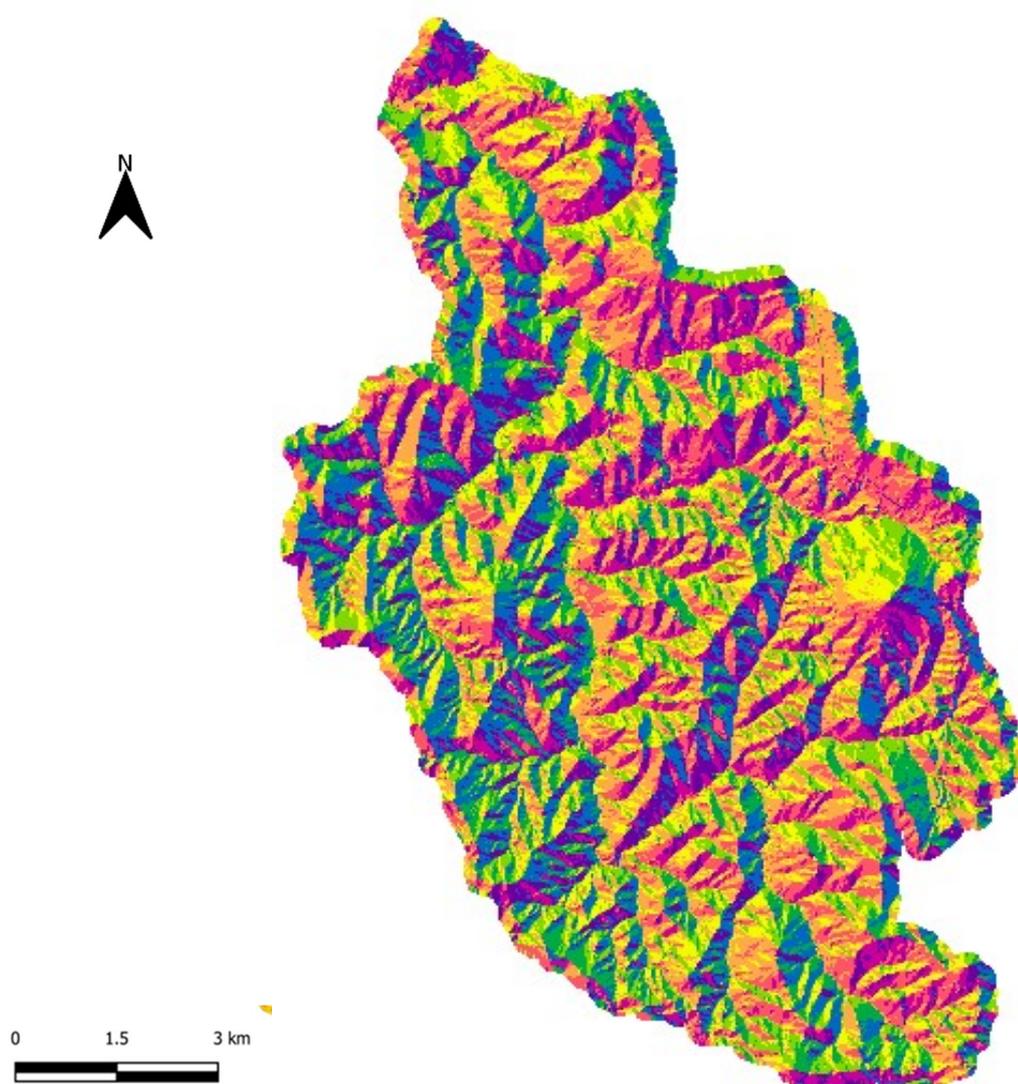


Fonte: Modelo Digital do Terreno, DGT

**Figura 4.5** - Carta de declives da bacia da ribeira de Pedrulhos.

### 4.3 Escoamento Superficial

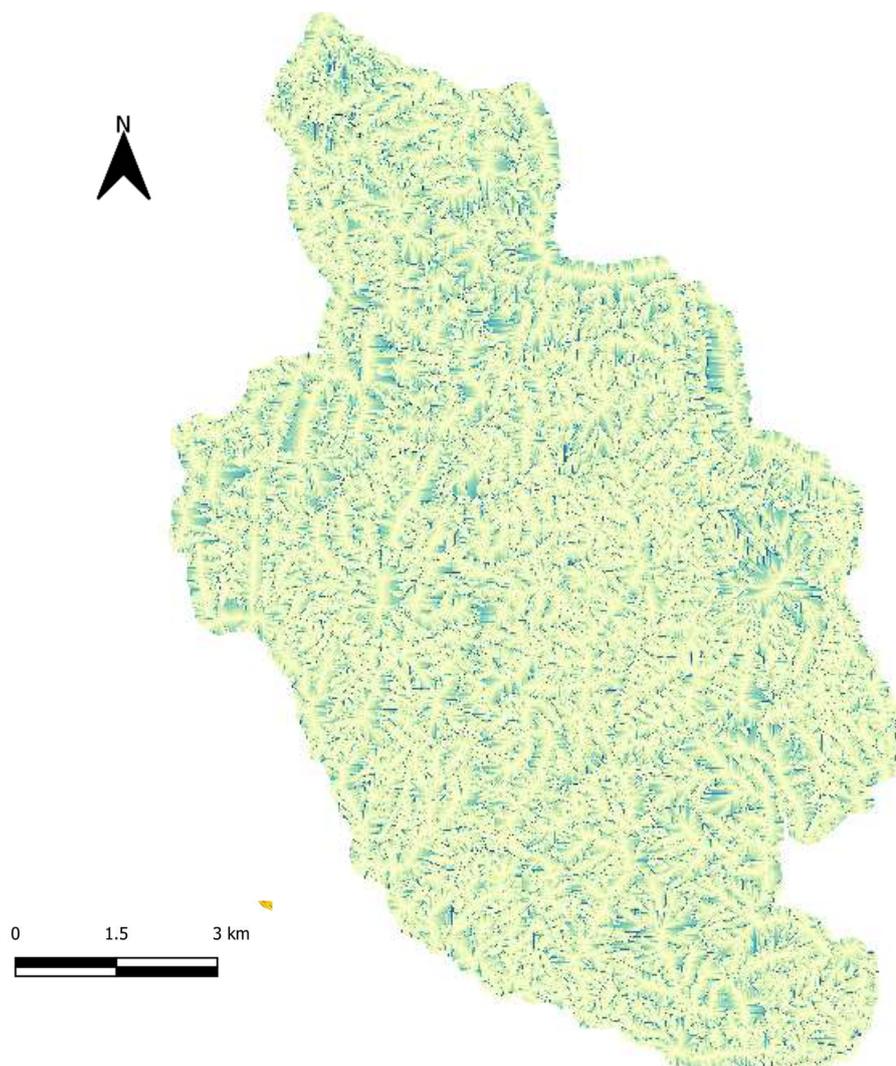
Como referido anteriormente, a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno. Com o modelo digital do terreno (MDT) da bacia (Figura 4.4) e o carregamento do mesmo no modelo de dados no HEC-HMS foi possível realizar vários processos, de forma a se poder gerar as cartas que caracterizam a rede hidrográfica, nomeadamente: a direção de escoamento (Figura 4.6), a acumulação de escoamento, a definição da rede e a segmentação da rede hidrográfica.



**Figura 4.6** – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos, *Layer* resultante da direção do escoamento.

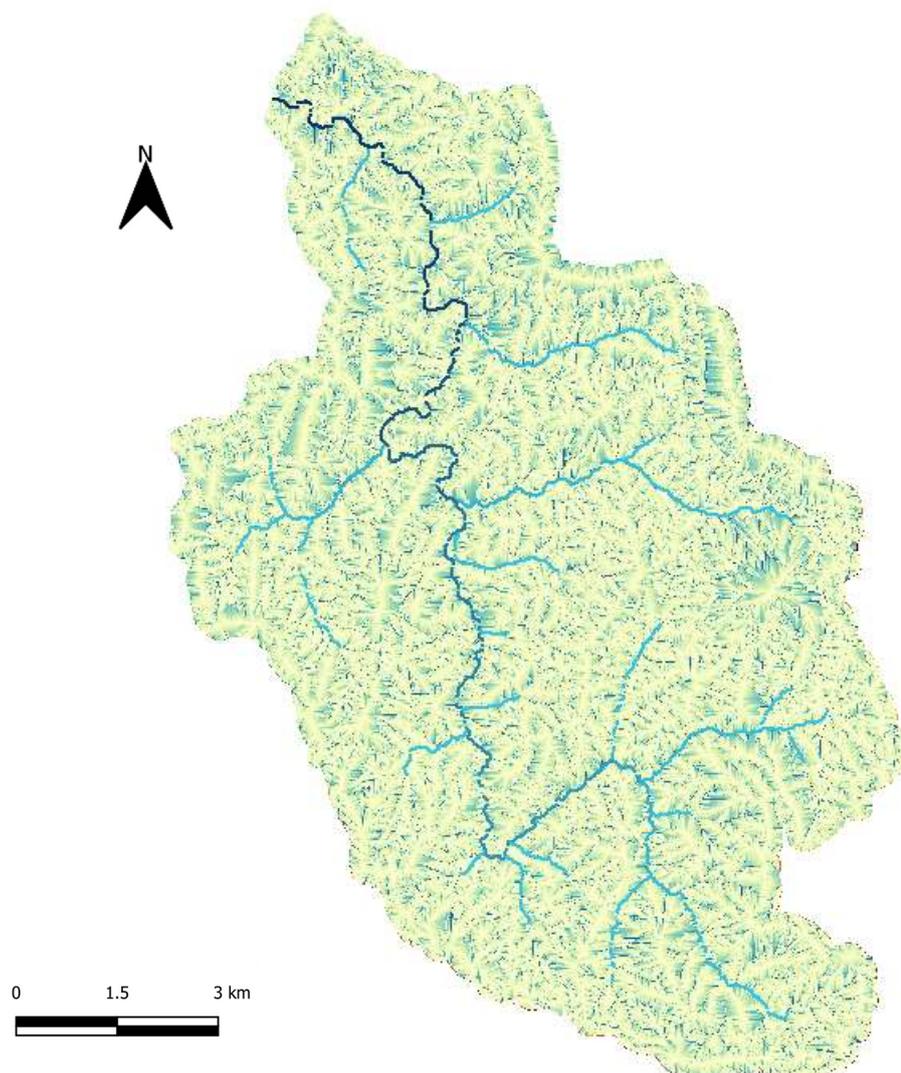
Com a grelha de direção do escoamento, foi processada a grelha de acumulação do escoamento (Figura 4.7).

A partir da matriz da direção do escoamento pode-se obter o escoamento acumulado. Desta forma, este é definido como um valor real da área total cujo fluxo se movimenta de célula para célula seguindo as direções calculadas como o algoritmo anterior.



**Figura 4.7** – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos, *Layer* resultante da acumulação do escoamento.

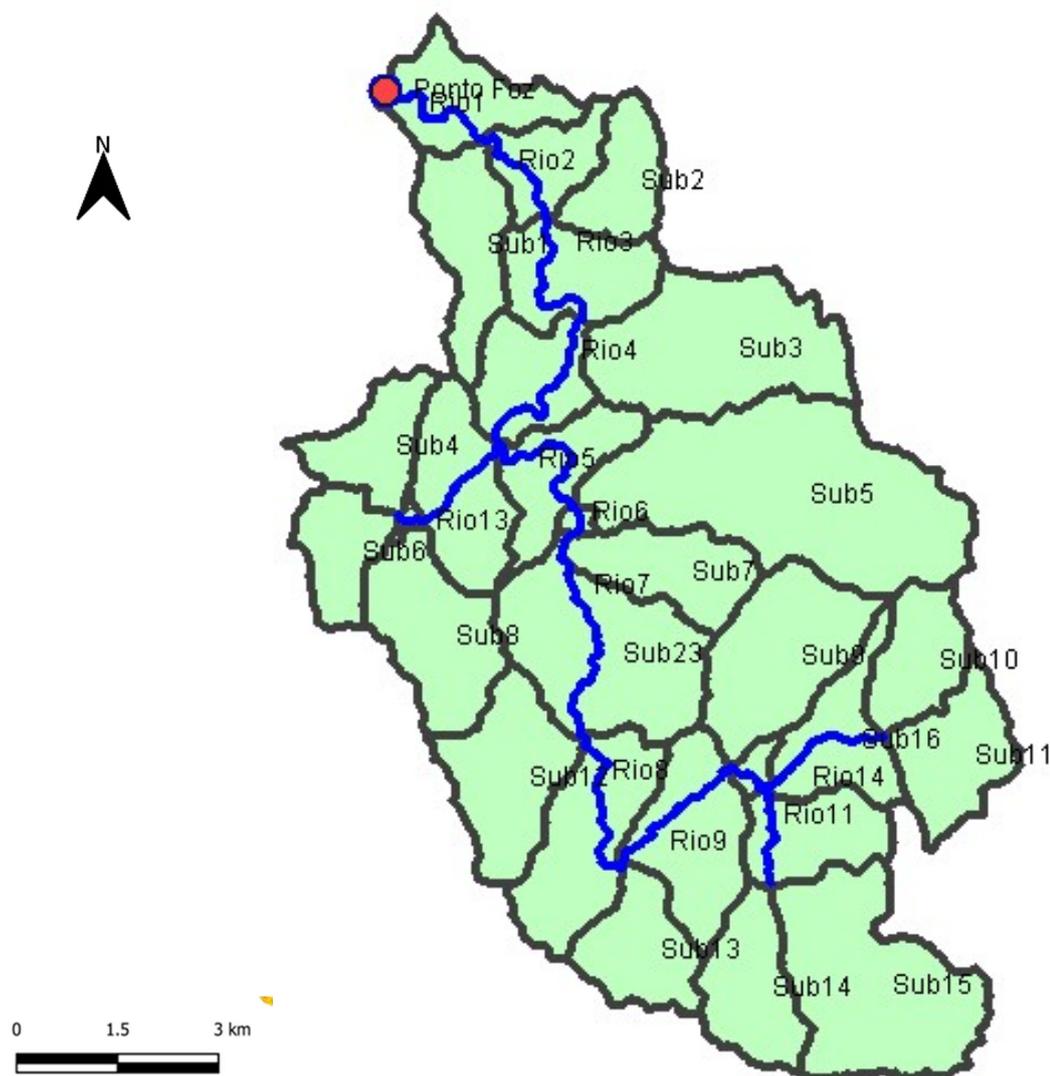
Concluídas as etapas de obtenção do escoamento e da acumulação do escoamento, foi possível gerar o mapa da rede de drenagem. Para o efeito foi necessário definir um valor máximo ou limiar (área mínima de escoamento em  $\text{km}^2$ ), permitindo assim, identificar o que o modelo considera ser a rede de drenagem (Figura 4.8). No estudo de caso foi utilizada a área de  $4 \text{ km}^2$ , área sugerida por defeito.



**Figura 4.8** – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos, *Layer* com segmentos da rede de drenagem.

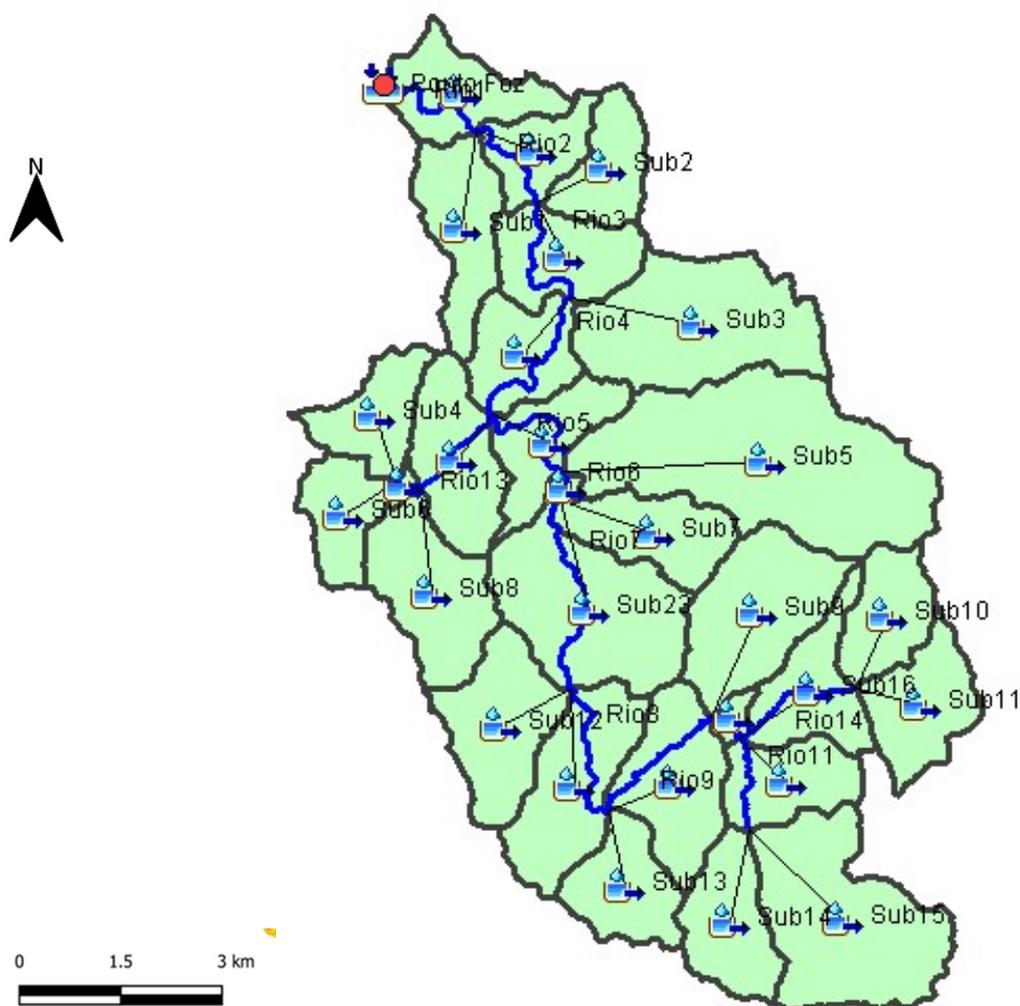
#### 4.4 Delimitação de sub-bacias

Após a criação da grelha de acumulação do escoamento e dos segmentos da rede de drenagem, foi processada a delimitação das sub-bacias, após definir o ponto mais a jusante do projeto, neste caso a foz da ribeira de Pedrulhos, local de interseção com o rio Sizandro (Figura 4.9).



**Figura 4.9** – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Layer resultante da delimitação das sub-bacias.

Esta operação resultou na constituição de vinte e nove sub-bacias, que se encontram representadas na (Figura 4.10). Finda esta etapa, será necessário dar continuidade ao processo e introduzir as características e parâmetros hidrológicos, que posteriormente serão utilizados para a modelação da bacia hidrográfica.



**Figura 4.10** – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. *Layer* resultante da definição da rede de drenagem final.

Na Tabela 4.1, apresentam-se as vinte e nove sub-bacias com a área respetiva.

Sub-Bacias	Área (Km <sup>2</sup> )						
Sub01	3.16	Sub09	4.76	Sub17	0.16	Sub25	2.63
Sub02	2.21	Sub10	2.43	Sub18	3.47	Sub26	2.69
Sub03	6.66	Sub11	3.01	Sub19	2.56	Sub27	3.01
Sub04	2.32	Sub12	3.96	Sub20	0.39	Sub28	2.01
Sub05	11.14	Sub13	2.72	Sub21	3.86	Sub29	2.96
Sub06	2.11	Sub14	3.00	Sub22	4.28		
Sub07	2.90	Sub15	6.97	Sub23	6.31		
Sub08	4.03	Sub16	2.83	Sub24	0.22	Total	98.60

**Tabela 4.1** – Áreas das sub-bacias do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.

Designação	Inclinação	Comprimento (Km)	Designação	Inclinação	Comprimento (Km)
Rio 1	0.23%	25.4	Rio 8	0.30%	29.1
Rio 2	0.23%	19.4	Rio 9	0.43%	27.2
Rio 3	0.14%	25.7	Rio 10	0.71%	7.6
Rio 4	0.25%	31.4	Rio 11	0.47%	19.7
Rio 5	0.25%	26.9	Rio 12	0.43%	19.2
Rio 6	0.06%	6.5	Rio 13	0.53%	4.5
Rio 7	0.27%	39.8	Rio 14	1.09%	25.2

**Tabela 4.2** – Características das linhas de água do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.

Após estas etapas, obteve-se as características fisiográficas nomeadamente o declive, centro de massa e a sua elevação relativamente a cada sub-bacia bem como o comprimento, declive e o troço mais longo relativamente às linhas de água.

Sub-bacias	Longest Flowpath Length (km)	Longest Flowpath Slope	centroid Flowpath Length (km)	Centroidal Flowpath Slope	Flowpath Length (10-85)	Flowpath Slope (10-85)	Basin Slope	Basin Relief / (M)	Relief Ratio	Elongation Ratio	Drainage Density (KM/KM2)
Sub01	4.34	2.82%	1.90759	0.01348	3.25791	1.78%	15%	132.19	0.03043	0.46181	0.40234
Sub02	3.18	4.68%	1.44742	0.02926	2.38333	3.34%	18%	171.26	0.05389	0.52765	0.22915
Sub03	5.99	3.57%	2.63893	0.00895	4.48887	2.41%	16%	234.96	0.03926	0.48654	0.46667
Sub04	2.72	3.88%	1.19026	0.01017	2.04246	2.70%	12%	127.56	0.04684	0.63068	0.26449
Sub05	8.18	3.37%	4.28557	0.00685	6.13420	1.85%	18%	355.71	0.04349	0.46051	0.49331
Sub06	2.64	6.47%	1.09132	0.01215	1.97636	3.63%	17%	170.77	0.06480	0.62162	0.14455
Sub07	3.82	3.69%	2.16770	0.00902	2.86451	1.86%	16%	159.54	0.04177	0.50300	0.53730
Sub08	4.17	4.26%	1.97506	0.00820	3.12586	1.93%	19%	184.44	0.04425	0.54383	0.45490
Sub09	4.59	6.91%	2.34001	0.00919	3.44039	4.05%	17%	320.38	0.06984	0.53662	0.45635
Sub10	3.45	8.40%	1.55570	0.01323	2.58597	5.65%	20%	290.56	0.08427	0.51063	0.19262
Sub11	2.80	3.54%	0.99434	0.01755	2.10155	2.77%	15%	133.11	0.04750	0.69842	0.15337
Sub12	3.52	6.03%	1.47082	0.01082	2.63838	3.48%	19%	211.44	0.06010	0.63811	0.29726
Sub13	2.98	5.39%	1.48854	0.02245	2.23163	4.85%	25%	208.22	0.06998	0.62500	0.36131
Sub14	4.34	6.32%	1.92115	0.02060	3.25145	3.89%	23%	276.61	0.06381	0.45076	0.48971
Sub15	5.60	4.06%	2.80739	0.01468	4.20178	2.33%	22%	275.78	0.04923	0.53170	0.46272
Sub16	4.13	7.68%	1.56224	0.00996	3.09881	4.86%	19%	317.36	0.07681	0.45961	0.88723
Sub17	0.76	3.74%	0.28606	0.00555	0.57183	3.48%	7%	33.63	0.04411	0.58748	2.80745
Sub18	3.45	5.09%	1.13978	0.00318	2.59121	2.29%	14%	174.42	0.05048	0.60857	0.55266
Sub19	2.85	5.18%	1.48322	0.01662	2.13672	4.95%	17%	156.62	0.05498	0.63357	0.77022
Sub20	1.24	5.53%	0.45274	0.01690	0.93343	4.80%	15%	68.53	0.05507	0.56960	1.91252
Sub21	3.42	2.29%	1.38532	0.00409	2.56343	1.03%	15%	172.05	0.05034	0.64859	0.70370
Sub22	4.63	4.29%	2.28651	0.00265	3.46967	1.83%	18%	205.78	0.04448	0.50452	0.67862
Sub23	5.94	1.73%	2.25955	0.00271	4.45840	0.92%	14%	176.22	0.02964	0.47696	0.63035
Sub24	0.93	2.46%	0.36860	0.00118	0.70024	1.46%	7%	49.73	0.05327	0.57187	2.88466
Sub25	4.41	3.80%	1.88949	0.00215	3.31039	1.76%	13%	173.94	0.03941	0.41446	1.02104
Sub26	3.41	1.75%	1.51246	0.00268	2.55668	0.24%	10%	113.74	0.03336	0.54290	1.16544
Sub27	4.37	4.14%	2.12053	0.00210	3.28037	1.89%	17%	184.22	0.04212	0.44785	0.85152
Sub28	3.05	5.04%	1.45067	0.02445	2.28743	5.35%	19%	156.40	0.05128	0.52451	0.96208
Sub29	4.35	3.35%	1.71975	0.00195	3.26253	2.47%	12%	146.57	0.03369	0.44628	0.79569

**Tabela 4.3** – Propriedades das sub-bacias do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.

Finalizando a etapa fisiográfica do projeto, é necessário definir os métodos necessários para a realização da modelação.

#### 4.5 Tempo de concentração

Conforme descrito anteriormente, com base nas características da bacia foi possível, calcular o tempo de concentração ( $t_c$ ) para a bacia e sub-bacias.

Área (Km <sup>2</sup> )	Comprimento Linha Água (Km)	Inclinação máxima	Comprimento (10-85) (Km)	Inclinação (10-85)	Elevação (Hmax - Hmin) (m)
98.60	31.28	0.96%	23.46	0.35%	350.46

**Tabela 4.4** – Características do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.

Analisados os resultados obtidos através das fórmulas apresentadas, para a bacia da ribeira de Pedrulhos, considerou-se a média dos valores obtidos através das fórmulas de *NERC*, *Temez* e *Giandotti*, (Tabela 4.5), nomeadamente 9.5 horas.

Bacia	TC (h) NERC	TC (h) Temez	TC (h) Giandotti	TC (min) (média)
Ribeira de Pedrulhos	10.54	9.93	8.18	573.00

**Tabela 4.5** – Tempo de concentração ( $t_c$ ) do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.

Sub-bacia	TC (h) NERC	TC (h) Temez	TC (h) Giandotti	TC (min) (média)	Sub-bacia	TC (h) NERC	TC (h) Temez	TC (h) Giandotti	TC (min) (média)
Sub01	2.84	1.80	2.10	134.80	Sub16	2.19	1.44	1.28	98.18
Sub02	2.11	1.29	1.45	97.07	Sub17	1.07	0.46	0.83	47.18
Sub03	3.07	2.20	2.23	150.01	Sub18	2.40	1.36	1.69	108.98
Sub04	2.07	1.19	1.59	97.00	Sub19	1.83	1.17	1.51	90.10
Sub05	3.79	2.82	2.40	180.23	Sub20	1.25	0.61	0.94	55.98
Sub06	1.90	1.05	1.32	85.44	Sub21	2.88	1.56	1.75	123.93
Sub07	2.65	1.55	1.75	119.10	Sub22	2.91	1.75	1.87	130.58
Sub08	2.73	1.62	1.86	124.16	Sub23	3.84	2.51	2.53	177.53
Sub09	2.40	1.59	1.54	110.58	Sub24	1.44	0.58	0.83	56.90
Sub10	1.94	1.23	1.18	87.11	Sub25	2.87	1.73	1.76	126.99
Sub11	2.08	1.24	1.71	100.57	Sub26	4.04	1.64	1.94	152.37
Sub12	2.20	1.33	1.61	102.72	Sub27	2.81	1.69	1.76	125.03
Sub13	1.88	1.20	1.35	88.58	Sub28	1.86	1.24	1.45	90.78
Sub14	2.36	1.55	1.43	106.67	Sub29	2.63	1.75	1.96	126.69
Sub15	3.00	2.04	2.02	141.27					

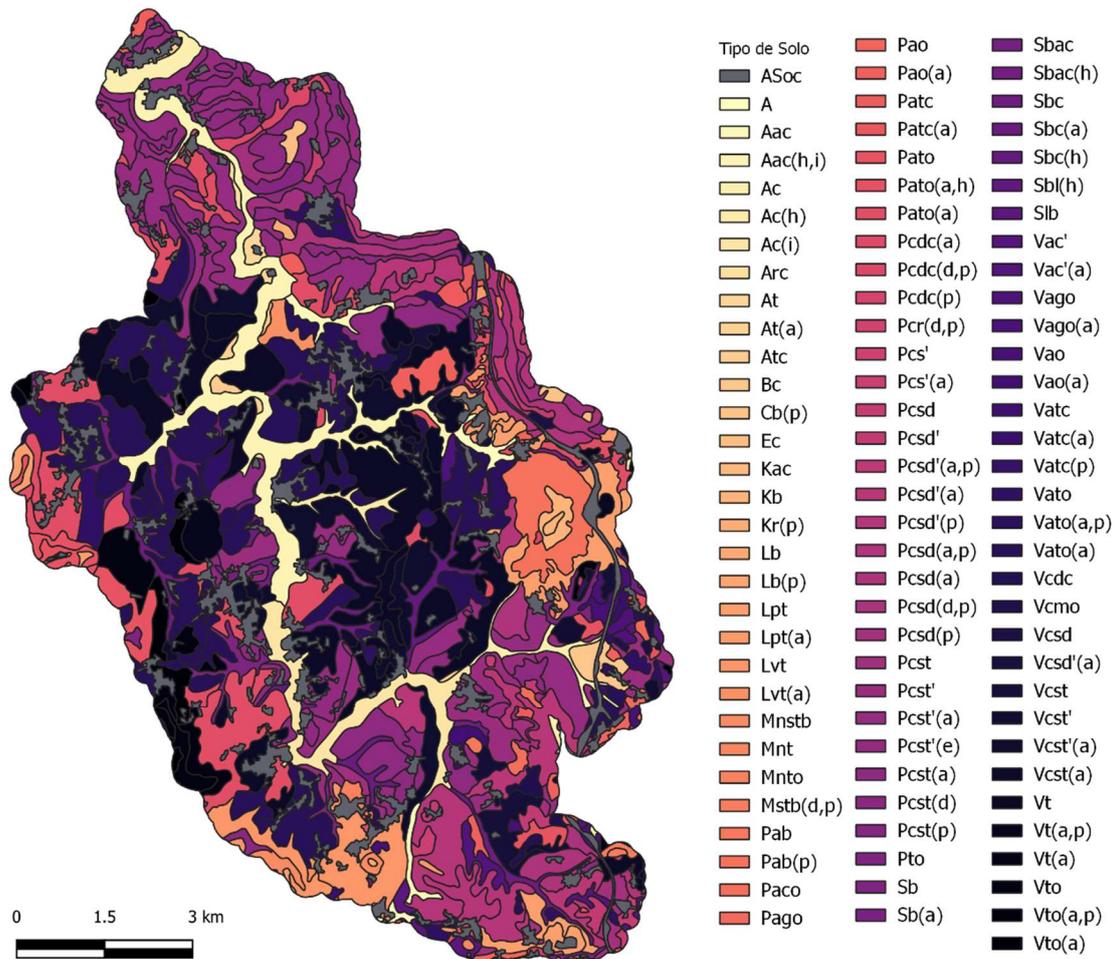
**Tabela 4.6** – Tempo de concentração (*tc*) do estudo de caso das sub-bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.

## 4.6 Número de Escoamento

O número de escoamento, número de curva ou (*CN*) é amplamente usado para estimar perdas de precipitação e, logo, precipitações efetivas e escoamento direto, contemplando o efeito do tipo e uso do solo.

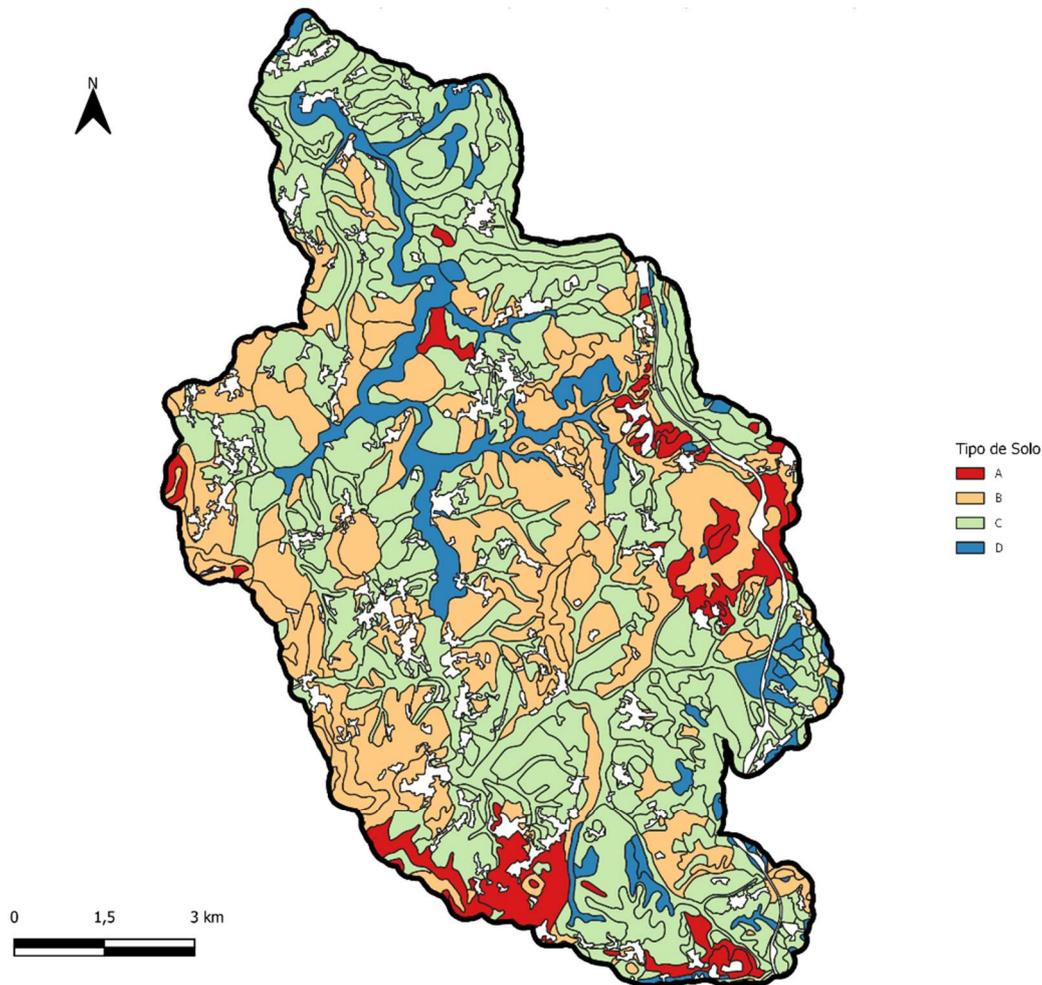
Nas figuras seguintes, encontram-se representadas na bacia da ribeira de Pedrulhos, os tipos de solo (SROA), classificação dos solos SCS, uso e ocupação do solo e por fim o Número de Escoamento (*CN*)

A carta de uso e ocupação do solo para 2018 da DGT permitiu identificar e caracterizar os usos e ocupações do solo da cada bacia em estudo nesse ano (Figura 4.13/Figura 4.11).



Fonte: Carta dos Solos de Portugal, DGADR, 1999 e Carta de Uso e Ocupação do Solo, DGT, 2018

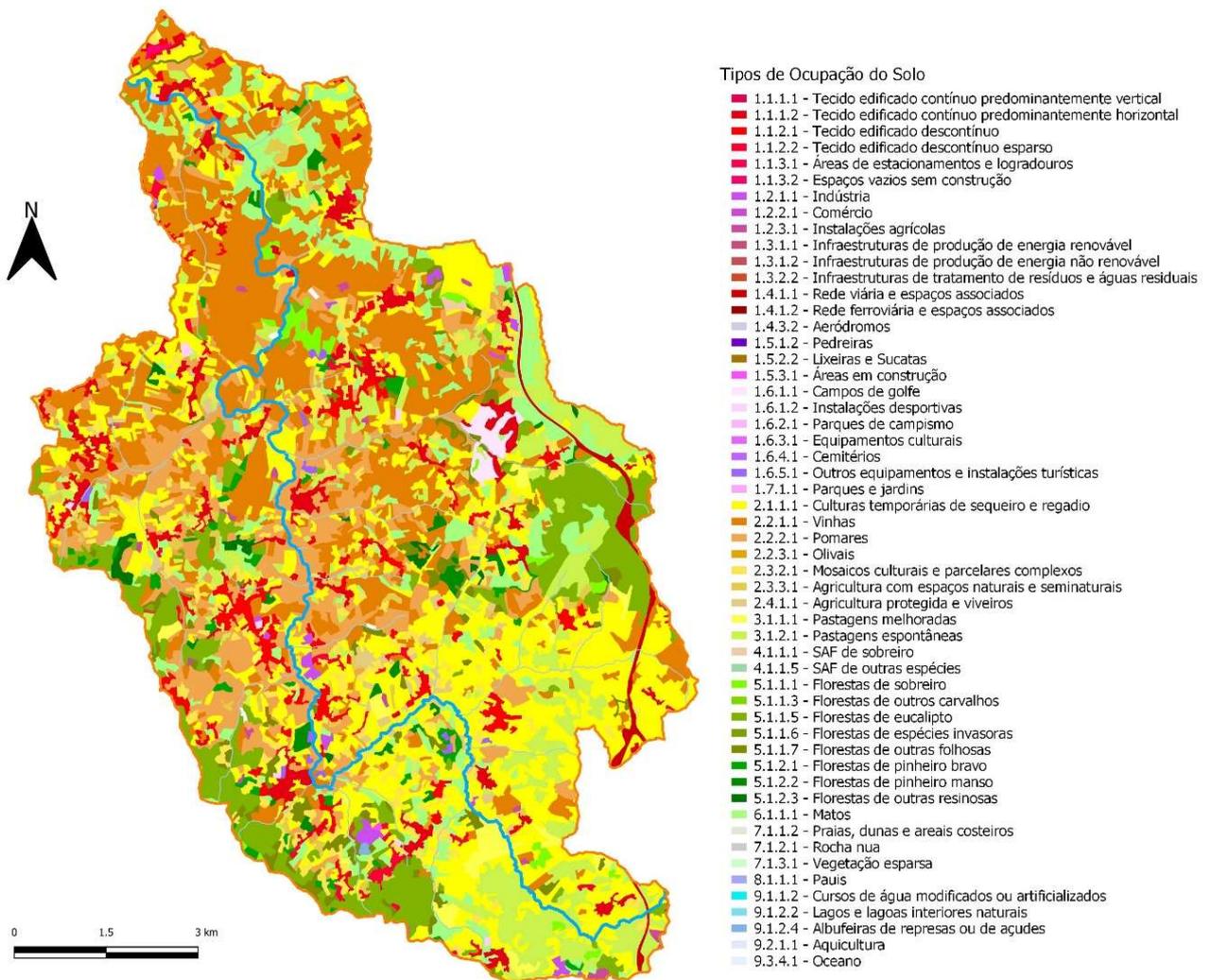
Figura 4.11 – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Tipos de solos (classificação SROA).



Fonte: Carta dos Solos de Portugal, DGADR, 1999 e Carta de Uso e Ocupação do Solo, DGT, 2018 (adaptado de MOREIRA, 2017, p. 58).

**Figura 4.12** – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Tipo de solos (classificação SCS).

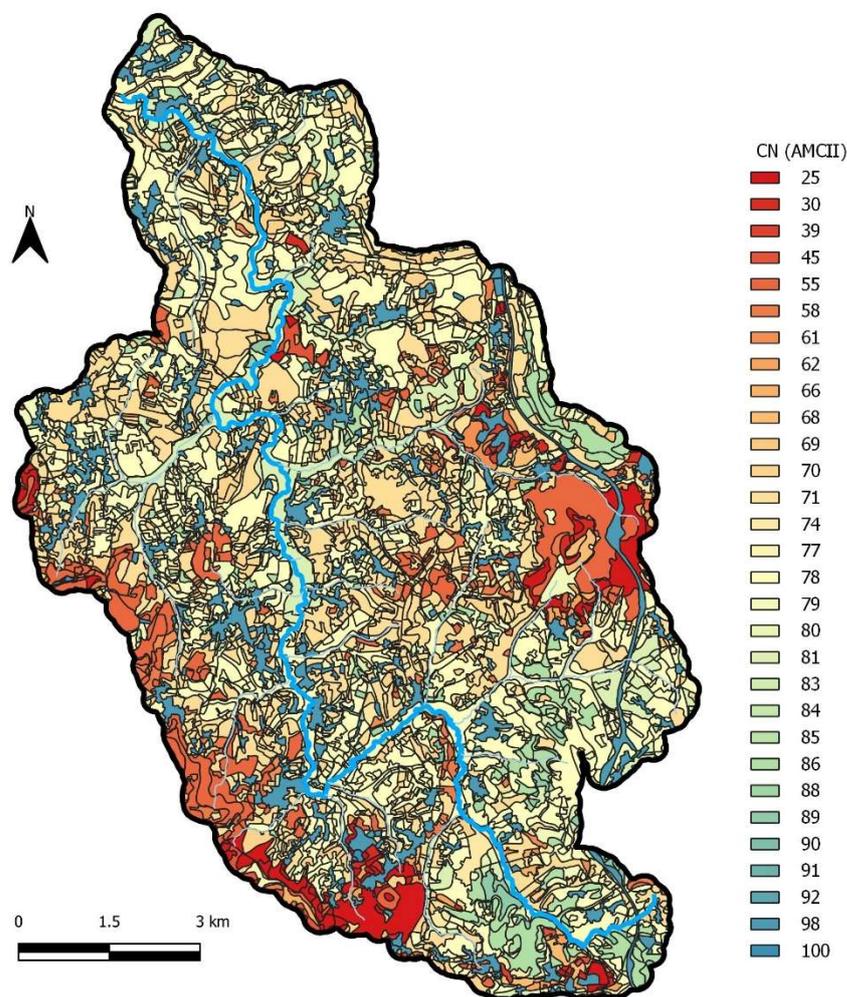
Para a classificação da Curva Número (CN) (Lencastre e Franco, 2010), foi intersectada a informação relativa ao tipo de solo com a do uso do solo. Os valores de CN resultam da análise dos tipos dos solos e respetivos usos, o que em conjunto condiciona a relação entre a precipitação e a precipitação efetiva (a que contribui para o escoamento superficial), para distintas condições de humidade do solo. Em cenários de cheia, as condições anteriores de teor de água do solo devem corresponder a solos com teor de água elevado, em condições de capacidade de campo ou superior (CN III), situação propícia à formação das maiores cheias. Na simulação hidrológica foram assim utilizados valores de CN III.



Fonte: Carta dos Solos de Portugal, DGADR, 1999 e Carta de Uso e Ocupação do Solo, DGT, 2018

**Figura 4.13** – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Uso e ocupação de solo.

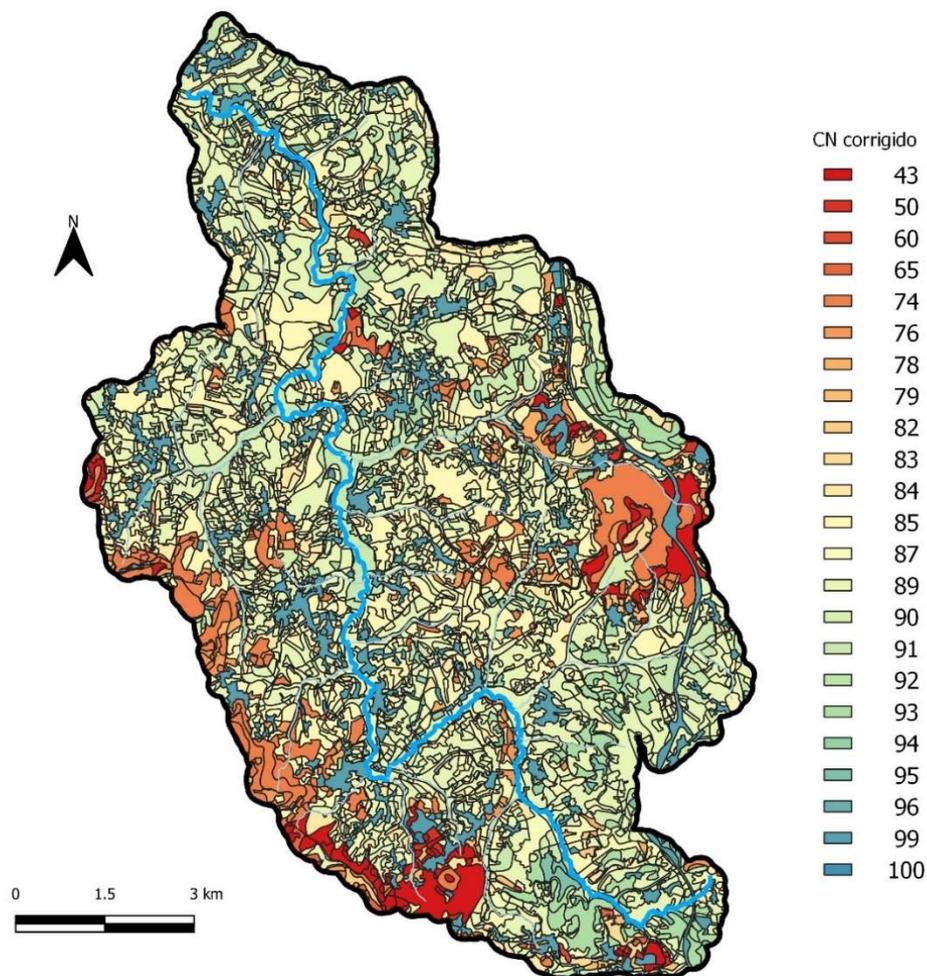
Concluiu-se que a ocupação do solo ao nível da bacia da ribeira de Pedrulhos, realizada com base na carta dos tipos de solo (SROA) e classificação dos solos SCS, revela um predomínio das áreas agrícolas e florestais, que representam aproximadamente 73% da área total. As áreas afetadas a matos e pastagens com 17% e por fim territórios artificializados e outros usos representam apenas 10% da área total.



**Figura 4.14** – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Número de Escoamento (*CN*) (AMCII).

O método do SCS recomenda que se corrija os valores para o Número de Escoamento (*CN*) tendo conta as condições de teor em água do solo. As condições propícias a cheias correspondem a situações em que o teor de água no solo é abundante (muito encharcado, quase saturado), em condições de empoçamento.

Assim, os anteriores valores do Número de escoamento para AMC II devem ser corrigidos para AMC III (Figura 4.15).



Fonte: Carta dos Solos de Portugal, DGADR, 1999 e Carta de Uso e Ocupação do Solo, DGT, 2018

**Figura 4.15** – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Número de Escoamento (CN) (AMCIII).

Sub-Bacias	CNIII médio	Sub-Bacias	CNIII médio	Sub-Bacias	CNIII médio
Sub01	89.63	Sub11	87.34	Sub21	73.67
Sub02	91.30	Sub12	84.27	Sub22	81.92
Sub03	85.58	Sub13	77.46	Sub23	88.47
Sub04	87.67	Sub14	88.31	Sub24	89.93
Sub05	85.40	Sub15	90.13	Sub25	89.65
Sub06	88.55	Sub16	90.99	Sub26	88.74
Sub07	81.61	Sub17	84.93	Sub27	88.49
Sub08	86.17	Sub18	90.31	Sub28	88.40
Sub09	86.70	Sub19	88.21	Sub29	88.18
Sub10	84.28	Sub20	79.16	Sub29	88.18

**Tabela 4.7** – Valores de AMCIII para as sub-bacia do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.

Para além da informação sobre as ligações físicas do modelo é também necessário definir ou editar outros parâmetros, nomeadamente referentes, ao modelo de perdas da precipitação, ao modelo de transformação da precipitação efetiva em escoamento direto e ao modelo de escoamento base (*Madruça, 2013*).

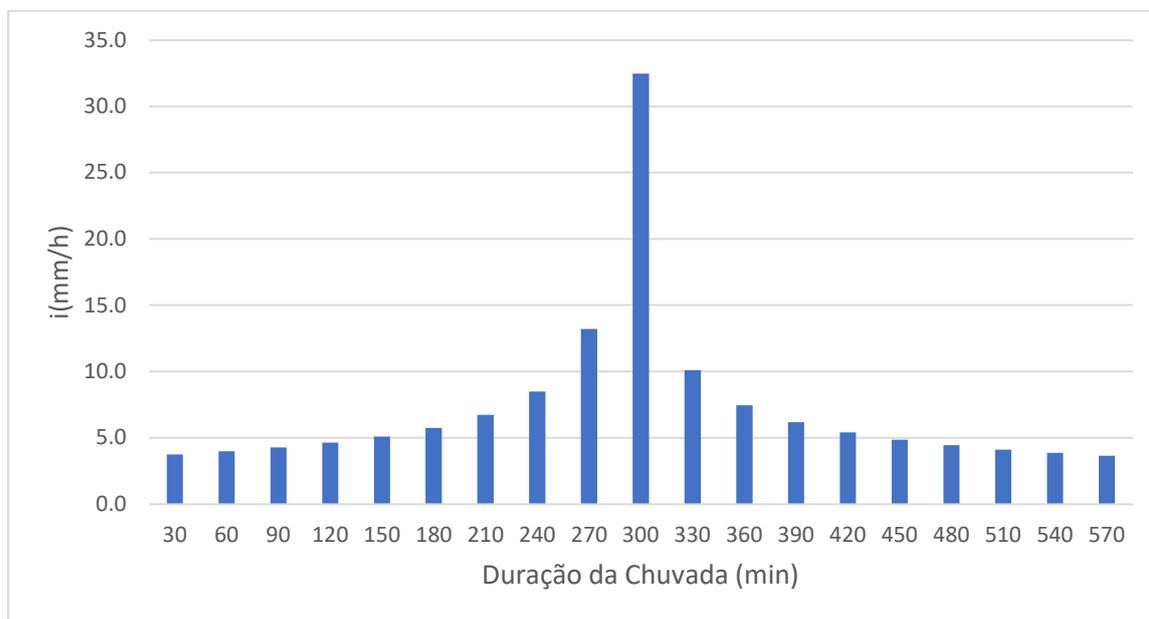
#### 4.7 Hietograma

A discretização temporal de um acontecimento pluviométrico é fornecida por meio de diagramas cronológicos dos sucessivos valores da precipitação. Tais diagramas podem ser contínuos ou discretos, designando-se, neste último caso, por hietogramas.

Pelo seu carácter geral, destacam-se os modelos utilizados no presente estudo, baseados em curvas Intensidade-Duração-Frequência, (IDF). Nestes modelos são determinados os incrementos ou parcelas da precipitação que, de acordo com uma dada curva, IDF, ocorrem em sucessivos intervalos de tempo, com duração constante,  $\Delta t$ . Tais parcelas de precipitação são, seguidamente, reorganizadas numa sequência temporal, estabelecida de acordo com um padrão de variação preestabelecido. À parcela da precipitação total,  $\Delta P_t$ , que ocorre num intervalo de tempo,  $\Delta t$ , entre dois instantes genéricos  $t$  e  $t+\Delta t$  atribuiu-se a designação de bloco de precipitação.

Um dos padrões de reorganização dos sucessivos incrementos de precipitação é normalmente designado por padrão de blocos alternados e admite que a maior quantidade de precipitação no incremento de tempo considerado,  $\Delta t$ , ocorre sensivelmente a meio da duração do acontecimento pluviométrico. As restantes parcelas de precipitação em  $\Delta t$  são ordenadas por ordem decrescente e dispostas sequencialmente e de modo alternado em torno daquele bloco central.

Como exemplo, apresenta-se o hietograma da bacia da ribeira de Pedrulhos, com precipitações com duração igual ao tempo de concentração de 570 min e o período de retorno de 100 anos (Figura 4.16).



**Figura 4.16** – Estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos. Hietograma da precipitação em blocos alternados para o período de retorno de 100 anos.

#### 4.8 Curvas de Intensidade Duração Frequência (IDF)

As curvas IDF traduzem-se pela seguinte expressão:

$$I = a t^b$$

em que I é a intensidade da precipitação (mm/h), t é a duração da chuvada (min), e a e b são parâmetros definidos em função do período de retorno e da duração da precipitação.

Para a determinação das precipitações intensas com a duração pretendida e um período de retorno (T) igual a 100 anos, consideraram-se as curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), propostas por (Brandão *et al.*, 2001) para o posto udográfico S. Julião do Tojal (20C/01) (Tabela 4.8 e Figura 4.17)., por ser o posto que se encontra mais perto da zona de estudo.

Posto	Código	Altitude (m)	Período de registos
S. Julião do Tojal	20C/01	13	34

**Tabela 4.8** – Características do posto udométrico das Curvas IDF

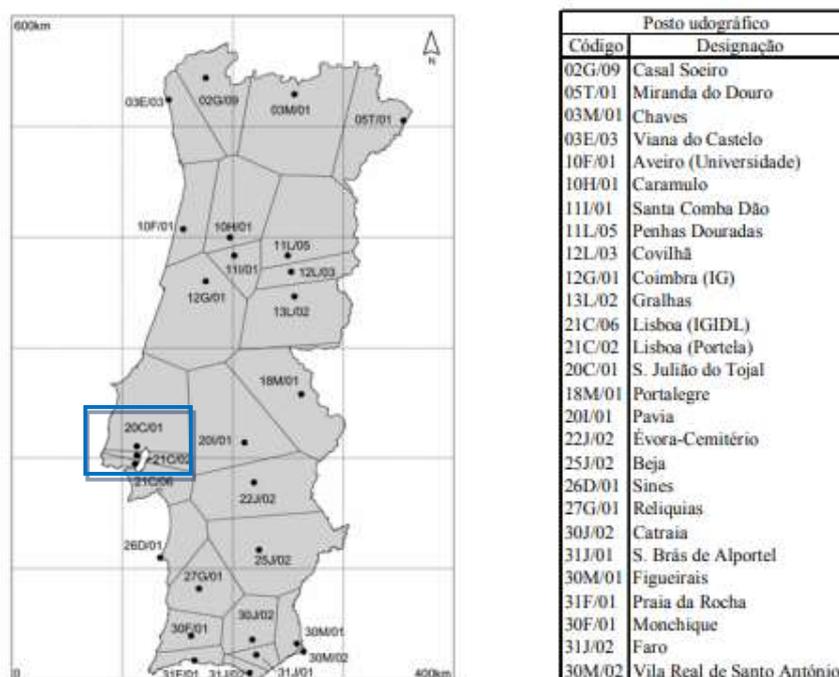


Figura 4.17 – Postos udográficos existentes em Portugal Continental (retirada de Portela, 2006).

Os hietogramas para a bacia em estudo foram estimados tendo em conta as intensidades de precipitação obtidas através da curva IDF para estação de S. Julião do Tojal (20C/1).

Período de retorno (anos)	Duração da precipitação 20C/01 (S. Julião do Tojal)					
	5-30 min		30 min a 6 h		6-48 h	
	a	b	a	b	a	b
2	164.68	-0.545	205.93	-0.596	381.00	-0.705
5	236.96	-0.557	238.7	-0.544	812.46	-0.753
10	284.46	-0.561	265.17	-0.525	1122.7	-0.77
20	330.31	-0.565	292.01	-0.512	1430.3	-0.781
50	389.37	-0.567	327.9	-0.5	1837.5	-0.792
100	433.58	-0.573	355.32	-0.493	2147.2	-0.797

Tabela 4.9 – Parâmetros das curvas IDF para a estação de S. Julião do Tojal (20C/1)

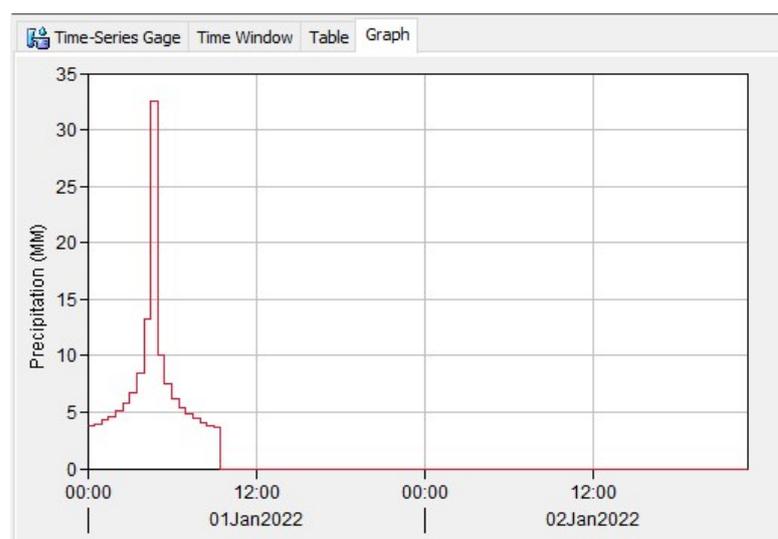
O período de retorno a adotar para o cálculo das ZAC, conforme estabelecido na Portaria n.º 336/2019, de 26 de setembro, “Em zonas em que as cheias possam provocar impactos negativos importantes (consequências prejudiciais significativas) sobre elementos expostos, a delimitação da zona ameaçada pelas cheias considera sempre o período de retorno de 100 anos.”

#### 4.9 Hidrograma Unitário Sintético (HUS)

No caso presente, optou-se pelo hidrograma unitário sintético do *Soil Conservation Service*, como descrito anteriormente. Para tal foi necessário especificar manualmente o parâmetro *Lag time* ou tempo de resposta,  $t_{lag}$ , para cada sub-bacia o qual foi considerado igual a 60% do correspondente tempo de concentração (*Viessman e Lewis, 1996*)

Sub-Bacias	Tlag	Sub-Bacias	Tlag
Sub01	80.88	Sub16	58.91
Sub02	58.24	Sub17	28.31
Sub03	90.01	Sub18	65.39
Sub04	58.20	Sub19	54.06
Sub05	108.14	Sub20	33.59
Sub06	51.27	Sub21	74.36
Sub07	71.46	Sub22	78.35
Sub08	74.50	Sub23	106.52
Sub09	66.35	Sub24	34.14
Sub10	52.26	Sub25	76.19
Sub11	60.34	Sub26	91.42
Sub12	61.63	Sub27	75.02
Sub13	53.15	Sub28	54.47
Sub14	64.00	Sub29	76.02
Sub15	84.76		

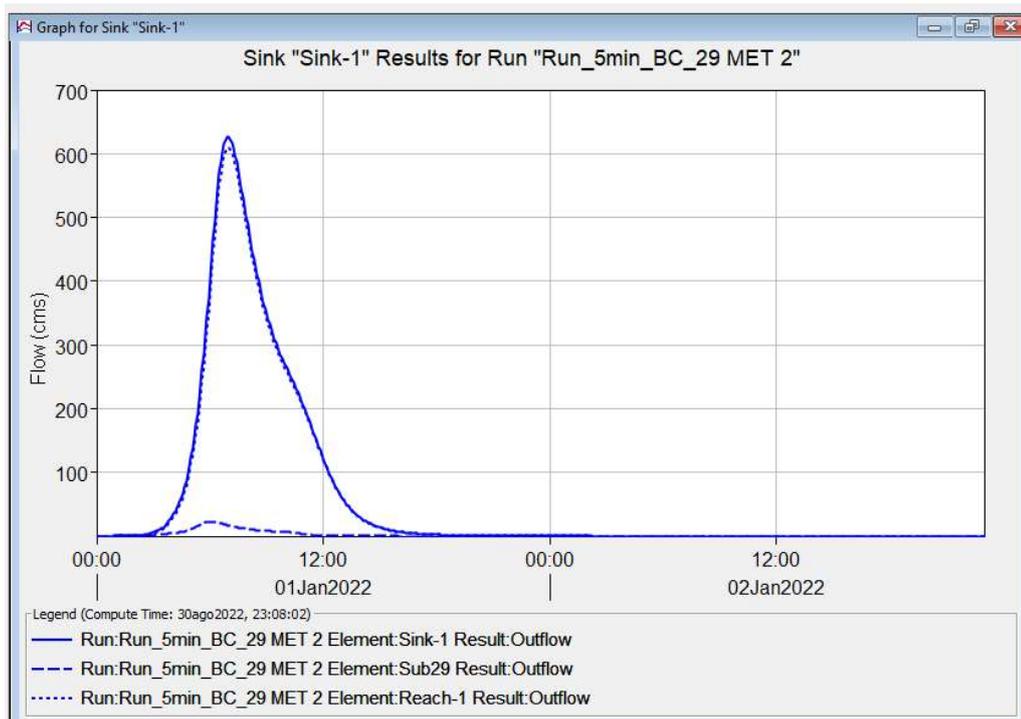
**Tabela 4.10** - Tempo de resposta das sub-bacia do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.



**Figura 4.18** – Hidrograma unitário SCS do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.

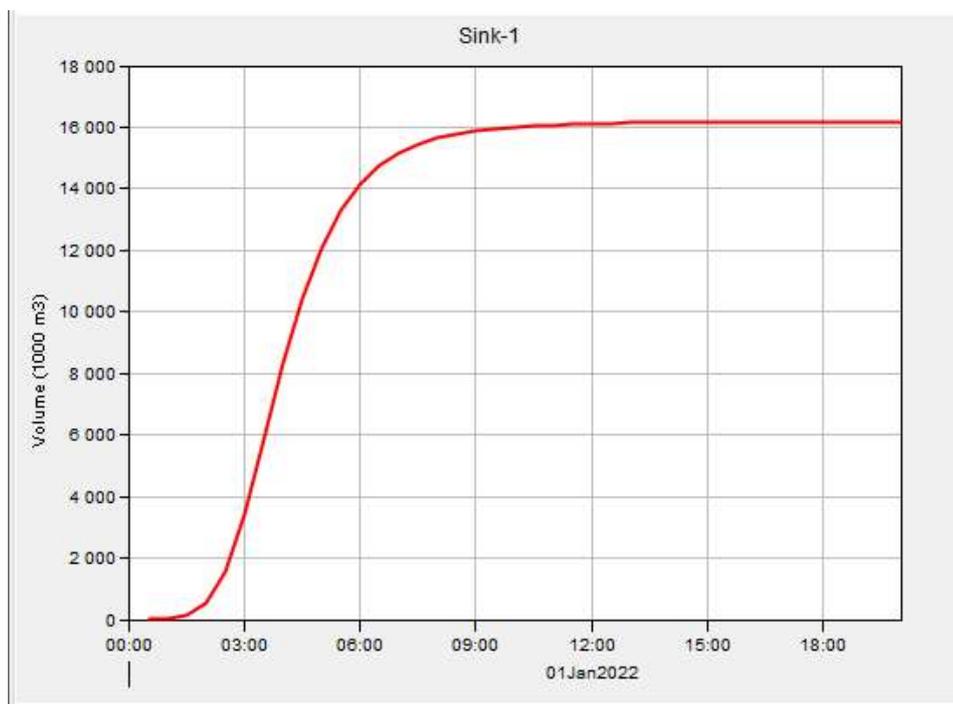
## 4.10 Hidrograma de cheia

Após correr o programa, foi possível obter os resultados que se apresentam de seguida, tais como o caudal de ponta de cheia, tempo para a ponta de cheia, a precipitação total, a precipitação útil, as perdas de precipitação, o escoamento total e o hidrograma de cheia na secção de referência (foz da ribeira de Pedrulhos) (Figura 4.19).



**Figura 4.19** – Hidrograma da bacia na foz do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.

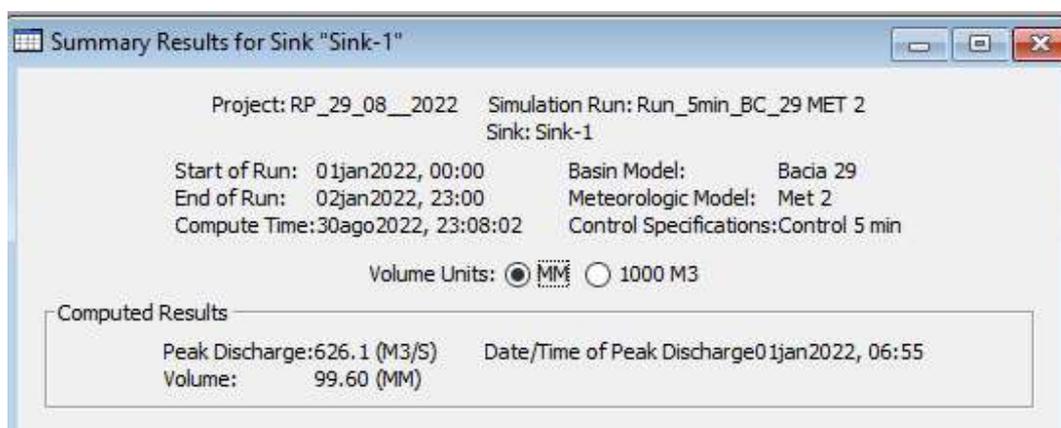
Os caudais acumulados, resultantes do hidrograma de cheias da bacia da ribeira de Pedrulhos, são apresentados na (Figura 4.20) na secção de referência (foz da ribeira de Pedrulhos).



**Figura 4.20** – Resultados obtidos pelo HEC-HMS, caudal acumulado do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.

#### 4.11 Caudal Ponta

Caudal máximo resultante da bacia da ribeira de Pedrulhos, secção de referência (foz da ribeira de Pedrulhos).



**Figura 4.21** – Resultados obtidos no HEC-HMS, caudal ponta na secção de referência.

Resultados obtidos, áreas de drenagem, pico de descarga, hora do pico e volume, das sub-bacias e bacia da ribeira de Pedrulhos.

## 4.12 Resultados da bacia

Através da aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS, a bacia hidrográfica da Ribeira de Pedrulhos, na secção da foz (intersecção com o Rio Sizandro), estima-se que, para uma precipitação media total de 100,00 mm, alcançando um caudal de ponta de cheia na foz, ao fim de 6.55 h horas, de 626.10 m<sup>3</sup>/s.

Project: RP\_29\_08\_2022 Simulation Run: Run\_5min\_BC\_29 MET 2

Start of Run: 01jan2022, 00:00 Basin Model: Bacia 29  
End of Run: 02jan2022, 23:00 Meteorologic Model: Met 2  
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 5 min

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Sub1	3.1606	24.1	01jan2022, 06:10	108.37
Sub2	2.2082	20.5	01jan2022, 05:45	112.95
Sub3	6.6602	43.7	01jan2022, 06:20	97.54
Sub4	2.3168	20.0	01jan2022, 05:45	103.06
Sub5	11.1420	65.9	01jan2022, 06:40	97.06
Sub6	2.1074	19.7	01jan2022, 05:40	105.43
Sub7	2.8987	19.3	01jan2022, 06:00	87.41
Sub8	4.0349	29.7	01jan2022, 06:05	99.09
Sub9	4.7590	37.6	01jan2022, 05:55	100.47
Sub10	2.4346	20.4	01jan2022, 05:40	94.17
Sub11	3.0080	25.3	01jan2022, 05:50	102.19
Sub12	3.9576	30.6	01jan2022, 05:50	94.15
Sub13	2.7162	18.6	01jan2022, 05:45	77.27
Sub14	2.9993	25.0	01jan2022, 05:50	104.77
Sub15	6.9690	52.4	01jan2022, 06:15	109.73
Sub16	2.8322	26.0	01jan2022, 05:45	112.09
Sub17	0.1576	1.8	01jan2022, 05:15	95.84
Sub18	3.4721	29.8	01jan2022, 05:50	110.22
Sub19	2.5589	23.1	01jan2022, 05:40	104.52
Sub20	0.3947	3.5	01jan2022, 05:20	81.37
Sub21	3.8597	19.6	01jan2022, 06:10	68.42
Sub22	4.2785	27.4	01jan2022, 06:10	88.18
Sub23	6.3139	40.6	01jan2022, 06:40	105.21
Sub24	0.2239	2.6	01jan2022, 05:20	109.17
Sub25	2.6284	20.7	01jan2022, 06:05	108.40
Sub26	2.6900	18.9	01jan2022, 06:20	105.94
Sub27	3.0135	23.3	01jan2022, 06:05	105.26
Sub28	2.0099	18.2	01jan2022, 05:40	105.02
Sub29	2.9600	22.6	01jan2022, 06:05	104.42
Reach-1	95.8058	609.6	01jan2022, 07:00	99.46
Reach-2	90.6353	582.5	01jan2022, 06:55	99.05
Reach-3	85.4136	554.3	01jan2022, 06:50	98.50
Reach-4	76.0634	502.0	01jan2022, 06:40	98.42
Reach-5	61.3462	406.7	01jan2022, 06:40	96.92
Reach-6	49.9803	342.9	01jan2022, 06:30	96.88
Reach-7	40.7677	292.3	01jan2022, 06:25	96.42
Reach-8	32.5316	239.6	01jan2022, 06:15	97.85
Reach-9	25.9557	204.7	01jan2022, 06:05	104.42
Reach-10	20.8020	165.4	01jan2022, 06:00	105.78
Reach-11	9.9683	76.0	01jan2022, 06:10	108.23
Reach-12	8.6167	68.5	01jan2022, 05:55	101.63
Reach-13	4.4242	39.4	01jan2022, 05:45	104.19
Reach-14	5.4426	45.5	01jan2022, 05:50	98.60
Sink-1	98.7658	626.1	01jan2022, 06:55	99.60

Figura 4.22 – Resultados obtidos pelo HEC-HMS, do estudo de caso da bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos.

## 5 CONCLUSÕES

Com a presente tese pretendeu-se analisar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, designadamente no que respeita à transformação de precipitações em hidrogramas de cheia, tendo por base sistemas de informação geográfica e compreendendo as fases de calibração dos parâmetros dos modelos e a consequente validação de resultados. Para o efeito, adotou-se como estudo de caso a sub-bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos, inserida na bacia hidrográfica do Rio Sizandro. Adicionalmente, o estudo permitiu ao autor reavivar e complementar os seus conhecimentos de hidrologia adquiridos durante a frequência do curso de Engenharia Civil com novas competências relacionadas com as tecnologias de informação geográfica, que lhe eram totalmente desconhecidas.

A previsão de caudais de ponta de cheia ou a geração de hidrogramas de cheia a considerar, por exemplo, em projetos de infraestrutura hidráulicas são dois dos aspetos mais cruciais e desafiantes da engenharia hidráulica. Dessas previsões dependem estruturas como sejam diques e barragens, descarregadores de cheia, sistemas de drenagem urbana ou passagens hidráulicas, bem como as delimitações das Zonas Ameaçadas por Cheia no âmbito no ordenamento do território. Tais intervenções requerem especificações e têm requisitos bem definidos. Para assegurar a sua observância, empregam-se modelos matemáticos com diferentes complexidades, cada vez mais frequentemente apoiados em ferramentas informáticas para auxiliar no armazenamento e processamento da informação, por forma a produzir resultados de projeto de forma económica e eficaz.

No que respeita à análise de cheias, objeto da presente dissertação, e para auxiliar todo o processo. Foram utilizados os programas Qgis e HEC-HMS, estes programas, permitem reunir uma enorme quantidade de informação e armazená-la de forma descomplicada, organizada e económica. O seu processamento é também bastante facilitado devido ao elevado grau de automação que apresentam, permitindo assim, produzir um sem número de estimativas de forma rápida e com recurso a um vasto conjunto de dados, hipóteses de formulações e métodos.

A metodologia empregue neste trabalho focou-se na análise dos caudais na bacia hidrográfica da ribeira de Pedrulhos e pressupôs a recolha de dados georreferenciados, de natureza diversa, em formato digital, a análise desses dados com o recurso ao Qgis e o seu processamento para posterior inclusão no modelo HEC-HMS. Foi reunida para análise em Qgis informação digital relacionada com a modelação digital do terreno, a classificação dos solos e o número de escoamento.

Para modelar as perdas da precipitação e a transformação da precipitação efetiva assim obtida em escoamento superficial foi aplicada a metodologia do Soil Conservation Service, SCS, mais

concretamente, com recurso ao número de escoamento e ao hidrograma unitário sintético do SCS, procedimentos com utilização bastante generalizada e aceite. O modelo de propagação do escoamento na rede de drenagem aplicado foi o Muskingum-cunge.

Na ausência de informação hidrométrica nas secções, recorreu-se apenas a dados pluviométricos.

Os hidrogramas de cheia obtidos para a secção da ribeira de Pedrulhos, foram obtidos através das curvas IDF, propostas para o posto udométrico com influência na bacia hidrográfica que é de S. Julião do Tojal (20C/01), em virtude de as estações hidrométricas na área de influência apresentarem ajustes muito diversos, por vezes com notória má qualidade. Julga-se, assim, válido concluir que, no seu todo, os modelos aplicados não conduzem a uma representação fiel do comportamento hidrológico da daquela bacia quando sujeita a precipitações intensas. Admite-se que a principal justificação desse facto resida na insuficiente e imprecisa caracterização da distribuição espacial da precipitação.

Não obstante do mencionado anteriormente, confirmou-se que as ferramentas utilizadas facilitam muito a análise de cheias em bacias hidrográficas, permitindo introduzir nessa análise tanto detalhe quanto o pretendido e, simultaneamente encurtar o tempo requerido para análise da mesma. Tal combinação de circunstâncias pode ter um efeito claro nos custos dos estudos necessários em fase de projeto, não só pela redução do número de horas efetivas de trabalho, mas também pela rapidez e qualidade das estimativas produzidas. Como tal, a sua utilização em estudos hidrológicos é certamente aconselhada e o seu desenvolvimento recomendado. Contudo, deve-se ter sempre presente a necessidade de algum espírito crítico na utilização dos resultados assim obtidos, assegurando-se o perfeito conhecimento dos modelos de onde provieram os quais nunca poderão ser entendidos como “caixas negras”, sob pena de não ser possível ajuizar sobre o seu desempenho.

A experiência adquirida no decurso da investigação sugere que a melhoria do desempenho das ferramentas aplicadas, não obstante o seu inquestionável interesse, passe necessariamente pela mais precisa descrição espacial da precipitação e suas consequências no âmbito da delimitação das ZAC, possivelmente por recurso a dados de radares meteorológicos e sua posterior organização sob a forma de grelha na bacia hidrográfica a que se aplicam. Atingido esse objetivo, e a configuração do modelo com desempenho adequado, afigura-se de interesse analisar a evolução aos longo dos anos das áreas inundáveis nos territórios.

Assim como trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento do estudo para toda a área da bacia hidrográfica do Rio Sizandro, a modelação dinâmica e por fim delimitação das ZAC.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Artigos

Marques, J. A. S., Carvalho, R., Simões, N. e Reis, P. (2004). Estudos de Hidrologia Urbana no Município de Coimbra. DEC-FCT-Universidade de Coimbra. (pp. 1-10)

Araújo, B. A. M., Souza, J. L., Júnior, V.F. M., Almeida, F. A. F. e Studart, T. M. C., (2011) Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. (pp. 1-18)

Isidoro, J. M. G. P., Rocheta, V. L. D. S. e Lança, R. (2010) - Delimitação de áreas Inundáveis por ação fluvial - Aplicação ao Rio Séqua/Gilão na área urbana de Tavira; X Congresso da Água – Marcas d'Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Algarve. (pp. 1-14)

Portela, M., Marques, P. e Carvalho, F. F. (2000). Hietogramas de projecto para a análise de cheias baseada no modelo do hidrograma unitário do Soil Conservation Service (SCS). V Congresso da Água - A Água e o desenvolvimento Sustentável: Desafios para o novo século. (pp. 1-17)

Zêzere, J. L., Pereira, A. R. e Morgado, P. (2005). Perigos Naturais e Tecnológicos no território de Portugal Continental. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa Faculdade de Letras da UL, Lisboa. (pp. 1)

Zêzere, J. L., Pereira, S., Quaresma, I., Santos, P. e Santos, M. (2013). Desastres de origem hidro-geomorfológica em Portugal continental no período 1865-2010. VI Congresso Nacional de Geomorfologia, Coimbra. (pp. 1-4)

### Livro

Brandão, C. Rodrigues, R. e Costa, J. (2001): Análise de Fenómenos Extremos, Precipitações Intensas em Portugal Continental, DSRH-INAG, Instituto da Água, Lisboa.

Branco, F., Picado-Santos, L. e Capitão, S. (2000). Vias de Comunicação: volume 2. Departamento de Engenharia Civil da F.C.T. da Universidade de Coimbra, edição de 2000/2001, Coimbra.

Chow, V. T., Maidment, D. R. e Mays, L. W. (1988). Applied hydrology, New York: McGraw-Hill.

Correia, A. (1980). Ensaios para Controlo de Terraplanagens. LNEC, Lisboa. Junta Autónoma de Estradas (JAE), (1998). “Caderno de Encargos: 03-pavimentação. JAE (atual IP), volume V, Almada.

Lencastre, A. e Franco, F. M. (2010). Lições de Hidrologia (3ª Edição). Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. (pp. 29 a 37, 294 a 295 e 306 a 313)

Mata-Lima, H. (2007). Hidráulica, Hidrologia e Recursos Hídricos. Apontamentos de apoio à unidade curricular. Universidade da Madeira. Funchal, Madeira. (pp. 110 – 113)

Mata-Lima, H., Vargas, H., Carvalho, J., Gonçalves, M., Caetano, H. e Marques, A. (2007). Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um caso de estudo. Revista Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Brasil.

Portela, M. M., (2006). Modelação hidrológica, DECivil, SHRHA, 2005/2006, 2º Semestre, Instituto Superior Técnico, Lisboa. (pp. 150)

Portela, M. M. (2006). Estimação de precipitações intensas em bacias hidrográficas de Portugal Continental. Associação Portuguesa Dos Recursos Hídricos (APRH), Lisboa. (pp. 15–32)

Quintela, A. C. (2005). Hidráulica, (4ª edição). Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. (pp. 254)

Ramos, C. (2005) – Programa de Hidrogeografia, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, DILIF – 3, Lisboa. (pp. 122)

Temez, J. R. (1978) - Cálculo Hidrometeorológico de Caudales Máximos en Pequeñas Cuencas Naturales. Ministerio de Obras Publicas y Urbanismo. Direccion General de Carreteras, Madrid. (pp. 96)

Viessman, W. e Lewis, G. L. (1996) – Introduction to Hydrology, (4ª Edição), HarperCollins College Publishers. Nova Iorque. (pp. 19, 11, 30 a 31, 73 a 76, 213 e 234)

### Relatório Técnico

APA-Agência Portuguesa do Ambiente, (2016). PGRI – Plano de Gestão dos Riscos e Inundações - Região Hidrográfica 5 - Tejo e Ribeiras do Oeste Zonas Críticas: Abrantes/Santarém/Vila-Franca-de-Xira, Loures e parte de Odivelas, Torres Vedras e Tomar. Lisboa.

APA-Agência Portuguesa do Ambiente, (2019). Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5A) – Questões Significativas da água (QSiGA) – Discussão Pública, Lisboa.

APA-Agência Portuguesa do Ambiente, (2020). PGRI – Plano de Gestão dos Riscos e Inundações – Cartas de zonas inundáveis e cartas de riscos de inundações - Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5A), Lisboa.

ARH-Tejo. (2010). Aquíferos das Bacias Hidrográficas do Rio Tejo e das Ribeiras do Oeste, Departamento de Recursos Hídricos Interiores, Lisboa.

ARH-Tejo. (2011). Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste, Síntese para consulta pública - versão extensa, Lisboa.

ARH-Tejo. (2012). Sistema de referência geográfica: EPSG 3763, Documento interno, Lisboa.

CMTV/CIVITAS/DCEA/FCT/UNL. (2007). Plano Municipal de Riscos Naturais - Volume I – Relatório Técnico, Torres Vedras.

de Lima, J. L. M. P. (2010). Hidrologia Urbana – Conceitos Básicos – ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos) e Universidade de Coimbra.

DRA-LVT. (2001). Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste – 1ª Fase - Análise e Diagnóstico da Situação de Referência - Anexo 11 – Situações Hidrológicas Extremas - Tomo 11B – Cheias, Lisboa.

IGOT (2019). Produção de conteúdos técnicos e científicos relativos aos riscos associados às alterações climáticas, no âmbito desse candidatura POSEUR 02-1708-FC-000049 - Comunicação e sensibilização em cenários de riscos associados às alterações climáticas. 3ª fase Escala Municipal, Versão 2, Setúbal.

LNEC. (2012). Plano das Bacias Hidrográficas das ribeiras do Oeste - Modelação do sistema aquífero de Torres Vedras e análise dos impactos das alterações climáticas nos ecossistemas dependentes das águas subterrâneas (EDAS), Lisboa.

Matos, M. R. e Silva, A. M. (1986). Estudos de Precipitação com Aplicação no Projecto de Sistemas de Drenagem Pluvial. Curvas Intensidade-Duração-Frequência da Precipitação em Portugal, ITH n.º 24, LNEC, Lisboa

### Teses

Brito, M. A. M. C. (2013). Estudo da Bacia Hidrográfica da Lagoa de Óbidos, Portugal, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Católica Portuguesa Faculdade de Engenharia, Lisboa. (pp. 143)

Madruga, L. M. C. (2013). Análise do escoamento na bacia hidrográfica da estação hidrométrica de Couto de Andreiros com recurso a sistemas de informação geográfica, Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa. (pp. 125)

Nero, I. L. P. (2014). A reserva ecológica nacional e a sua importância para o desenvolvimento do ordenamento do território. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Jurídico-Forenses, Faculdade de Direito - Universidade Nova de Lisboa. (pp. 100)

Rosário, E. M. R. (1990), Determinação cartográfica do hidrograma unitário. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa.

### Manual de software

<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

### Normas ou Especificações

Directiva 85/337/CEE do Conselho de 27/06/1985. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 175/40 de 05/07/1985.

Directiva 96/61/CE do Conselho de 24/09/1996. Jornal Oficial L 257 de 10/10/1996.

Directiva 97/11/CE do Conselho de 03/03/1997. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 73/5 de 14/03/1997.

Decreto-Lei n.º 70/90, de 2 de março. Diário da República n.º 51/90 - I Série. Ministério do Planeamento e da Administração do Território.

Decreto-Lei n.º 45/94, de 22 de fevereiro. Diário da República n.º 44/94 - I Série -A. Ministério do Ambiente e Recursos Naturais.

Decreto-Lei n.º 46/94, de 22 de fevereiro. Diário da República n.º 44/94 - I Série-A. Ministério do Ambiente e Recursos Naturais.

Decreto-Lei n.º 47/94, de 22 de fevereiro. Diário da República n.º 44/94 - I Série -A. Ministério do Ambiente e Recursos Naturais.

Decreto-Lei n.º 364/98, de 21 de novembro. Diário da República n.º 270/98 - I Série -A. Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território.

Decreto-Lei n.º 254/99, de 7 de julho. Diário da República n.º 156/99 - I Série -A. Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território.

Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de setembro. Diário da República n.º 222/99 - I Série -A. Ministério do Ambiente.

Decreto-Lei n.º 69/2000, de 3 de maio. Diário da República n.º 102/00 - I Série -A. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de março. Diário da República n.º 64/06 - I Série -A. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio. Diário da República n.º 105/07 - I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Decreto-Lei n.º 347/2007, de 19 de outubro. Diário da República n.º 202/07 - I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de outubro. Diário da República n.º 209/08 - I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro. Diário da República n.º 206/10 - I Série. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.

Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto. Diário da República n.º 194/95 - I Série B. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

Despacho n.º 18313/2009, de 7 de agosto. Diário da República n.º 152/09 - II Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional - Gabinete do Ministro.

Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23/10/2000. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 327/1 de 22/12/2000.

Directiva 2006/118/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 12/12/2006. Jornal Oficial da União Europeia L 372/19 de 27/12/2006.

Directiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23/10/2007. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 288/27 de 06/11/2007.

Lei n.º 54/2005 de 15 de novembro. Diário da República n.º 219/05 - I Série -A. Assembleia da República.

Lei n.º 58/2005 de 29 de dezembro. Diário da República n.º 249/05 - I Série -A. Assembleia da República.

Portaria n.º 1284/2009 de 19 de outubro. Diário da República n.º 202/09 - I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Portaria n.º 336/2019 de 26 de setembro, alterada pela Portaria n.º 264/2020 de 13 de novembro. Diário da República n.º 185/19 - I Série. Ministério do Ambiente e Transferência Energética.

Resolução da Comissão Nacional de Proteção Civil n.º 25/2008.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 22-A/2016, de 20 de setembro, republicada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 22-A/2016, de 18 de novembro.

#### Site da Internet

CMS (2019) [https://www.mun-setubal.pt/wp-content/uploads/2021/10/ZAC\\_ZONA-A-MONT-DA-%C3%81REA-URBANA.pdf](https://www.mun-setubal.pt/wp-content/uploads/2021/10/ZAC_ZONA-A-MONT-DA-%C3%81REA-URBANA.pdf) [10/04/2022]. Delimitação das zonas ameaçadas por cheias (ZAC) na zona não urbana de Setúbal após implementação de obras de controlo de cheias. Setúbal.

DRA-LVT (2001)

[https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/GeoDocs/geoportaldocs/ARHTEjo/PBHRibeirasOeste/Fase1\\_AnaliseDiagnSituaRefer/ANEXTEMATICOS/Anex11\\_SituaHidrologExtremas/Tomo11B\\_AnaliseCheias/PBHRO\\_Anexo11\\_Tomo11B.pdf](https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/GeoDocs/geoportaldocs/ARHTEjo/PBHRibeirasOeste/Fase1_AnaliseDiagnSituaRefer/ANEXTEMATICOS/Anex11_SituaHidrologExtremas/Tomo11B_AnaliseCheias/PBHRO_Anexo11_Tomo11B.pdf) [04/05/2022]. Plano das Bacias Hidrográficas, Lisboa.

RBRH (2015) [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/176/78600f4f6fa84d6c5d7b611ec565a7b2\\_5b5c74cd9547089745afc6f5fb1ab676.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/176/78600f4f6fa84d6c5d7b611ec565a7b2_5b5c74cd9547089745afc6f5fb1ab676.pdf) [08/05/2022]. Reconsiderações sobre a Fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração. Porto Alegre.

XIX-SPRH (2019) [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/51b628c0f984da85b0201d42c0cdd10f\\_2ff3473dd68d07c62117d3505fadc85a.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/51b628c0f984da85b0201d42c0cdd10f_2ff3473dd68d07c62117d3505fadc85a.pdf) [27/03/2022]. Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas. Brasil.