ESTUDO HIDROLÓGICO PARA ELABORAÇÃO DE CARTOGRAFIA DE RISCO DE INUNDAÇÃO

Vila do Conde

Equipa Técnica

GIPP - Gestão Integrada de Projectos e Planeamento, Lda.

- Cristina Azevedo – Licenciada em Engenharia do Ambiente e Recursos Rurais e Especialização em Sistemas de Informação Geográfica Municipais, Membro efetivo da Ordem dos Engenheiros n.º 76598.

- Carlos Pereira – Licenciado em Ecologia e Paisagismo e Mestre em Ciências e Sistemas de Informação Geográfica, Doutorando em Geografia e Planeamento Regional.

Índice

1. Introdução 5
2. Capítulo I: Caraterização da área de estudo 8
3. Capítulo II: Distribuição da precipitação 22
4. Capítulo III: Modelação da suscetibilidade e modelação hidráulica de cheias 88
5. Conclusão 113
6. Bibliografia 114

Índice de Figuras

Figura 1: Enquadramento geográfico da bacia do rio Ave e da bacia do rio Onda 9
Figura 2: Distribuição das litologias nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda (Fonte: elaborado a partir da Carta Geológica de Portugal, 1:50.000, LNEG). 11
Figura 3: Distribuição espacial dos Tipos de Solos (tipo predominante em cada mancha) nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda (Fonte: elaborado a partir da Carta de Solos e Carta de Aptidão da Terra para a Agricultura à escala 1:100.000, DGADR). 14
Figura 4: Distribuição da altitude na área de estudo 15
Figura 5: Distribuição da exposição solar na área de estudo 16
Figura 6: Distribuição dos declives na área de estudo. 17
Figura 7: Principais sub-bacias e cursos de água nas bacias hidrográficas da área de estudo 19
Figura 8: Distribuição da ocupação do solo na área de estudo. 20
Figura 9: Localização das estações meteorológicas em estudo. 22
Figura 10: A interpolação Ponderação pelo Inverso da Distância IDW é baseada na distância ponderada de um ponto de amostragem (à esquerda). Superfície IDW interpolada a partir de pontos vetoriais de elevação (à direita). Fonte da Image: Mitas, L., Mitasova, H. (1999).....32
Figura 11: Mapa de Precipitação Média Anual (mm) (Fonte: Adaptado do SNIRH).....33
Figura 12: Precipitação mensal média (1942 a 1994) para as estações em estudo. 34
Figura 13: Número médio de dias por mês com precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm (série 1932-1998) na estação de Brancelhe.....39
Figura 14: Número médio de dias por mês com precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm (série 1932-1998) na estação de Viatodos.....40
Figura 15: Frequência relativa (%) mensal do número de dias com precipitação diária acima de 5, 10, 20 e 50 mm, em relação ao número total de dias com precipitação na estação de Brancelhe.....41
Figura 16: Frequência relativa (%) mensal do número de dias com precipitação diária acima de 5, 10, 20 e 50 mm, em relação ao número total de dias com precipitação na estação de Viatodos.....42
Figura 17: Distribuição da probabilidade de ocorrência de precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm em cada mês na estação de Brancelhe. 44
Figura 18: Distribuição da probabilidade de ocorrência de precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm em cada mês na estação de estação de Viatodos.....44
Figura 19: Ilustração da determinação do fator de forma para duas bacias de mesma área. 54
Figura 20: Direção dos fluxos (em octantes) 58
Figura 21: Acumulação de fluxos (nº de células) 59
Figura 22: Tipo de Solos, adaptado de SCS para as bacias do Ave do Onda. 67
Figura 23: Distribuição do número de escoamento calculado com base nos dados do tipo de solos e da ocupação do solo (2015) nas bacias do Ave do Onda. 68
Figura 24:Curva regional de distribuição de frequências na região litoral a norte do rio Tejo (Portela e Dias, 2003). 74
Figura 25: Relações entre a área de bacia hidrográfica e o índice de cheias, Q2.33 na região litoral a norte do rio Tejo (Portela e Dias, 2003). 74
Figura 26: Registo fotográfico da cheia de 1962 na Praça da República.....81
Figura 27: Registo fotográfico das cheias de 31 de março a 1 de abril de 1962 (Praça da República).....82
Figura 28: Cheias no Cais das Lavandeiras 82
Figura 29: Estragos das últimas cheias.....83
Figura 30: Modelo conceptual para avaliação da suscetibilidade à ocorrência de cheias (adaptado de Reis, 2011). 89
Figura 31: Declive médio nas bacias dos rios Ave e Onda. 90
Figura 32: Permeabilidade relativa nas bacias dos rios Ave e Onda. 93
Figura 33: Mapa do grau de infiltração nas bacias dos rios Ave e Onda. 95
Figura 34: Mapa de permeabilidade modificada para as bacias dos rios Ave e Onda. 96
Figura 35: Permeabilidade média nas bacias dos rios Ave e Onda. 96
Figura 36: Suscetibilidade à ocorrência de cheias no concelho de Vila do Conde e distribuição espacial de ocorrências. 98
Figura 37: Modelo conceptual da integração do SIG com o HEC-RAS. 100
Figura 38: Geometria dos vales para modelação hidráulica nas bacias dos rios Ave Onda. 102
Figura 39: Resultado da simulação correspondente ao perfil das áreas inundáveis no Rio Onda 105
Figura 40: Resultado da simulação correspondente ao perfil das áreas inundáveis no Rio Ave (concelho de Vila do Conde) 105
Figura 41: Distribuição das Área inundáveis para o período de retorno de 10, 50 e 100 anos (Concelho de Vila do Conde) 107
Figura 42: Distribuição das Área inundáveis para o período de retorno de 10, 50 e 100 anos (Zona Urbana) 108
Figura 43: Distribuição das Área inundáveis para o período de retorno de 10, 50 e 100 anos (rio Este) 109
Figura 44: Distribuição das Área inundáveis para o período de retorno de 10, 50 e 100 anos (rio Onda) 110
Figura 45: Distribuição das Profundidades das áreas inundáveis para o período de retorno de 100 anos (Concelho de Vila do Conde).....111
Figura 46: Cartograma das áreas inundáveis 112

Índice de Quadros

Quadro 1: Fontes e principais características técnicas da informação geográfica utilizada neste estudo..... 8
Quadro 2: Área ocupada pelas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda em cada concelho. 10
Quadro 3: Classes litológicas presentes nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda. 12
Quadro 4: Tipo de solos nas bacias do rio Ave e Onda 14
Quadro 5: Classes de altitude nas bacias hidrográficas da área de estudo 15
Quadro 6: Distribuição das classes de altitude na área de estudo 16
Quadro 7: Classes de declive nas bacias hidrográficas da área de estudo 18
Quadro 8: Classes de ocupação do solo nas bacias hidrográficas da área de estudo 20
Quadro 9: Características das estações meteorológicas (Fonte: SNIRH). 23
Quadro 10: Estações, parâmetros de precipitação e respetivos períodos de dados (Fonte: SNIRH). 24
Quadro 11: Parâmetros estatísticos da precipitação anual (1942 a 1994) nas estações meteorológicas em estudo.....30
Quadro 12: Precipitação anual média nas estações climatológicas e udométricas da área de estudo.....31
Quadro 13: Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Brancelhe (04I/02UG). 34
Quadro 14: Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Cabeceiras de Basto (04J/06UG) 35
Quadro 15: Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Caldelas (03G/04UG).....35
Quadro 16: Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Celorico de Basto (05I/01UG).....36
Quadro 17: Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Sameiro (04G/02UG).....36
Quadro 18: Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Viatodos (05F/01UG).....36
Quadro 19: Distribuição da média de dias de precipitação na estação de Brancelhe. 38
Quadro 20: Distribuição da média de dias de precipitação na estação de Viatodos. 38
Quadro 21: Frequência relativa (%) mensal do número de dias com precipitação diária, em relação ao número total de dias com precipitação na estação de Brancelhe..40
Quadro 22: Frequência relativa (%) mensal do número de dias com precipitação diária, em relação ao número total de dias com precipitação na estação de Viatodos.....41
Quadro 23: Probabilidade de ocorrência de precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm em cada mês na estação de Brancelhe.....43

Quadro 24: Probabilidade de ocorrência de precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm em cada mês na estação de Viatodos. 43
Quadro 25: Período de Retorno na estação de Brancelhe. 45
Quadro 26: Período de Retorno na estação de Viatodos. 46
Quadro 27: Funções de distribuição da lei de Weibull aplicada às precipitações diárias máximas anuais (Pdma) tendo por base o período total de registos referente à estação Brancelhe (1932 - 2008) (77 anos). 47
Quadro 28: Funções de distribuição da lei de Weibull aplicada às precipitações diárias máximas anuais (Pdma) tendo por base o período total de registos referente à estação Viatodos (1932 - 2007) (74 anos). 48
Quadro 29: Cartografia utilizada na caracterização e análise da área de estudo. 51
Quadro 30: Parâmetros geométricos das bacias dos rios Ave e Onda. 57
Quadro 31: Características da rede de drenagem nas bacias dos rios Ave e Onda 59
Quadro 32: Drenagem de bacias hidrográficas. 60
Quadro 33: Características dos parâmetros do relevo das bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda 61
Quadro 34: Classificação hidrológica dos solos segundo o SCS (adaptado de Lencastre e Franco, 1992) 62
Quadro 35: Definição das condições antecedentes de humidade (Correia 1984b). 62
Quadro 36: Número de escoamento calculado com base nos dados do tipo de solos e da ocupação do solo (2015) na bacia do Ave. 63
Quadro 37: Número de escoamento calculado com base nos dados do tipo de solos e da ocupação do solo (2015) na bacia do Onda. 66
Quadro 38: Definição das condições antecedentes de humidade (Correia 1984b). 68
Quadro 39: Tempo de concentração (Tc), com base em diferentes métodos empíricos, e tempo de resposta (com base no valor do Tc adotado), das bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda 69
Quadro 40: Parâmetros a e b da curva IDF para Viana do Castelo e respetivas intensidades de precipitação, calculadas para Tc=17h13m (1032,99 minutos) na bacia do Ave e Tc= 5h10m (310,35 minutos), na bacia do Onda. 71
Quadro 41: Valor de Z e Valor de C para os diferentes períodos de retorno (T) (Fonte: Loureiro, 1984). 72
Quadro 42: Determinação das Zonas para a obtenção dos valores Z e C (Fonte: Loureiro, 1984). 72
Quadro 43: Caudal de Ponta de Cheia segundo o método de Loureiro 1984, para as Bacias do Ave e do Onda. 73
Quadro 44: Valor da relação, Qt/Q2.33 para as bacias do Ave e do Onda (adaptado de Portela e Dias, 2003). 74
Quadro 45: Cálculo do índice de cheias, Q2.33 para as bacias do Ave e do Onda (adaptado de Portela e Dias, 2003). 74
Quadro 46: Valor da Relação Qt/Q2,233 correspondente aos diferentes períodos de retorno, T considerados. 74
Quadro 47: Parâmetro λ da fórmula de Giandotti para o cálculo do caudal de ponta de cheia. 75
Quadro 48:Caudal de ponta calculado pelo método de Turazza – Giandotti. 76
Quadro 49: Caudal de ponta calculado pelo método de Gete. 76
Quadro 50: Perdas iniciais da chuvada calculados para a Bacia do Ave e do Onda. 77
Quadro 51: Caudal de ponta (American Soil Conservation Service) calculado para as Bacias do Ave e Onda. 78
Quadro 52: Caudais de ponta de cheia (m3/s) para as bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda, obtidos a partir de métodos empíricos, para diferentes períodos de retorno. 78
Quadro 53: Tipos de inundações devidas a cheias (Ramos, 2009) 80
Quadro 54: Registo de cheias e inundações pela ANPC 84
Quadro 55: Permeabilidades relativas atribuídas às classes de geologia na Bacia do rio Ave, com base na classificação proposta em Ramos (2010) 91
Quadro 56: Permeabilidades relativas atribuídas às classes de geologia na Bacia do rio Onda, com base na classificação proposta em Ramos (2010).0. 92
Quadro 57: Grau de infiltração na bacia do rio Ave, tendo por base a Carta de Ocupação do Solos (COS 2015). 94
Quadro 58: Grau de infiltração na bacia do rio Onda, tendo por base a Carta de Ocupação do Solos (COS 2015). 94
Quadro 59: Dados da geometria das bacias dos rios Ave e Onda. 101
Quadro 60: Coeficiente de Manning com base na ocupação do solo nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda. 103
Quadro 61: Dados para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos 104
Quadro 62: Área inundáveis para o período de retorno de 10, 50 e 100 anos 106

1. Introdução

1.1. Critérios para a delimitação

Segundo a Declaração de Retificação n.º71/2012, de 30 de novembro, *a determinação das zonas ameaçadas pelas cheias associadas ao período de retorno de 100 anos, bem como daquelas onde a ocorrência de cheias fluviais com excecionalidades inferiores (por exemplo 20 anos) conduza a consequências prejudicais significativas, obriga ou à elaboração de estudos hidrológicos e hidráulicos que utilizem os dados hidrometeorológicos e morfológicos existentes, ou à aplicação de procedimentos hidrológicos expeditos, em caso de bacias hidrográficas não suficientemente monitorizadas e de bacias hidrográficas entre 10 km^2 e 600 km^2, ou a estudo geomorfológicos combinados com uma avaliação estatística.*

A aplicação de procedimentos expeditos é complementada com estudos hidrológicos mais desenvolvidos sempre que existam especificidades próprias.

Os estudos hidrológicos consideram os dados e informações obtidos nas redes de monitorização de caráter nacional, geridas pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e pelo organismo competente em matéria de meteorologia. Para além destas duas origens, e caso seja relevante, podem utilizar-se dados de redes específicas, locais, regionais ou mesmo nacionais, operadas por outros organismos, instituições ou grupos de investigação.

Os estudos hidrológicos incorporam mais de uma metodologia específica para obtenção do caudal de ponta de cheia e os resultados obtidos devem ser analisados de forma crítica e, se possível, comparados com observações hidrométricas na mesma bacia hidrográfica. Nestes estudos aconselha-se a utilização das curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) específicas da bacia hidrográfica e, em caso de ausência desta informação, por impossibilidade da sua determinação, podem utilizar-se as curvas IDF para o período de retorno de 20 e 100 anos indicadas no quadro seguinte, disponíveis no portal do SNIRH (http://snirh.pt).

Para bacias hidrográficas com áreas compreendidas entre 10 km^2 e 600 km^2 aconselha-se a utilização do método de cálculo do caudal de ponta de cheia do Soil Conservation Service [SCS, 1972 e 1973] ou o método racional, sendo mais apropriado o método de Temez (1978) para bacias hidrográficas com áreas próximas do limite superior do intervalo referido anteriormente.

Como metodologia alternativa, em situações de ausência ou escassez de dados e de informação hidrometeorológica, pode recorrer-se ao procedimento hidrológico expedito válido para bacias hidrográficas com áreas entre 10 km^2 e 600 km^2. Este procedimento expedito obriga à determinação prévia da área da bacia hidrográfica (A) e à aplicação das seguintes equações:

a) *Para o período de retorno de 100 anos:*

$$q_{(m^3/s/km^2)} = 61{,}176\ A_{(km^2)}^{\ -0{,}589}$$

b) *Para o período de retorno de 20 anos:*

$$q_{(m^3/s/km^2)} = 55{,}036\ A_{(km^2)}^{\ -0{,}628}$$

O estudo hidráulico permite a determinação de uma cartografia específica sobre zonas ameaçadas pelas cheias. Na

sua elaboração utiliza-se informação topográfica atual e validada, disponibilizada pelos serviços competentes. Caso esta informação não forneça elementos suficientes para caraterizar a situação, deve recolher-se localmente informação topo-batimétrica a uma escala apropriada.

Alternativamente pode desenvolver-se um Modelo de Elevação do Terreno (MET) a partir dos dados altimétricos do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) para a Península Ibérica, disponíveis em http://srtm.usgs.gov, com resolução base de 90 m.

Não são integradas nesta tipologia da REN as áreas suscetíveis de inundação motivada por fenómenos como, por exemplo, tsunamis, rotura de barragens ou diques e fusão de neve ou gelo.

1.2. Metodologia

A identificação e delimitação das zonas ameaçadas pelas cheias tem por base a Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro, posteriormente retificada pela Declaração de Retificação n.º 71/2012, de 30 de novembro e mais recentemente as "Orientações Estratégicas de âmbito Nacional e Regional – Critérios para a delimitação da Reserva Ecológica Nacional – CNT 17.11.2017".

As cheias são fenómenos hidrológicos extremos com severidade variável, provocadas por episódios de precipitações intensas. As cheias só são consideradas catastróficas quando entram em linha de conta com as populações, os seus bens e atividades económicas.

Neste âmbito, as bacias hidrográficas das principais linhas de água presentes no concelho de Vila do Conde têm sido afetadas por cheias ao longo das últimas décadas, por vezes com impactos muito relevantes na população, incluindo em termos de perda de vidas humanas.

O objetivo principal deste trabalho é a análise da suscetibilidade da ocorrência de cheias na área em estudo e a identificação de áreas inundáveis, profundidades e velocidades de escoamento, obtidas por modelação hidráulica, para o período de retorno de 100 anos, a partir do qual se fará o zonamento das áreas suscetíveis de serem inundadas.

Neste sentido, será dada uma importância fundamental à caracterização e análise da precipitação em diferentes escalas temporais, visto ser a principal causa de cheias na região e estes dados funcionarem como informação de entrada para os métodos de avaliação de pontas de cheia, com base nos quais se parte para a modelação hidráulica. O conhecimento dos locais com maior predisposição para a ocorrência de cheias, assim como sua cartografia da suscetibilidade e perigosidade, constituem um instrumento fundamental para um correto ordenamento do território e planeamento das atividades humanas.

Este estudo é constituído essencialmente por 4 partes. Na primeira parte é feita uma caracterização da área de estudo, tendo em conta as características litológicas, os solos, a hidrografia, o relevo e ocupação do solo. A segunda enquadra a distribuição da precipitação nas bacias hidrográficas em estudo tendo em conta uma análise a 3 níveis temporais: anual, mensal e diária. É feita uma caracterização para as estações meteorológicas presentes na área de estudo e na sua vizinhança. Na terceira parte é feita uma breve apresentação das variáveis utlizadas no decorrer do trabalho, seguida de uma avaliação das condições de escoamento da bacia, assente numa análise quantitativa das componentes biofísicas da bacia, determinação do número de escoamento em dois momentos de ocupação do solo, determinação

dos tempos de concentração e de resposta e do caudal de ponta de cheias, sendo ainda feita uma caracterização das situações de cheias no concelho. A quarta parte, e última, desenvolve a modelação da suscetibilidade à ocorrência de cheias assim como a modelação hidráulica, que associa os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o software HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center-River Analysis System*). O cálculo do caudal de ponta de cheia pelo método do SCS (*Soil Conservation Service*) proposto por Correia (1984) é utilizado para a delimitação das áreas suscetíveis de serem inundadas para o período de retorno de 100 anos, obtendo-se desta forma as alturas e velocidades de escoamento. São descritos os procedimentos executados no modelo hidráulico HEC-RAS/GEORAS, desde a preparação das variáveis até à obtenção dos resultados simulados relativos à extensão das áreas inundáveis, profundidade e velocidade de escoamento.

2. Capítulo I: Caraterização da área de estudo

2.1. Fontes de informação

Para a determinação das cartas de risco e inundação, foi necessário o recurso ao software SIG para o processamento e análise da informação geográfica. Para tal foi utilizado o Arcmap e Qgis.

O sistema de coordenadas adotado neste estudo é o ETRS89 Portugal TM06, sistema recomendado para Portugal pela agência EuroGeographics[1] (DGT, 2013).

Para a caracterização do território da BH do Rio Ave partiu-se da informação geográfica apresentada no Quadro 1, que apresenta também a sua origem e um resumo das suas especificações.

***Quadro 1**: Fontes e principais características técnicas da informação geográfica utilizada neste estudo*

Informação geográfica	Formato	Escala	Origem
Carta Administrativa Oficial de Portugal – CAOP. Versão 2016	vectorial	1:25 000	DGTerritório
Principais Bacias Hidrográficas (DQA)	vectorial	1: 25 000	SNIAmb
Rede hidrográfica GeoCodificada	vectorial	1: 25 000	SNIAmb
Rede de estações hidrométricas ativas (ligação direta ao SNIRH)	vectorial	1: 10 000	SNIAmb provenientes do SNIRH
Rede de estações meteorológicas (ligação direta ao SNIRH)	vectorial	1: 10 000	SNIAmb provenientes do SNIRH
Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal continental para 2010 (COS2010)	vectorial	UMC: 1 ha. DML: 20 m LMP: 20 m ET ≥ 85% EP ≥ 5,5 m	DGTerritório
Carta Litológica	vectorial		

UMC – Unidade cartográfica mínima; DML – Distância mínima entre linhas; LMP – Largura mínima entre polígonos; ET – Exactidão temática; EP – Exactidão posicional.

1 Associação das autoridades nacionais de cartografia e cadastro europeias, da qual a Direcção-Geral do Território faz parte. http://www.eurogeographics.org.

2.2. Enquadramento Geográfico

O rio Ave nasce na Serra da Cabreira, a cerca de 1200 m de altitude, no Pau da Bela, percorrendo cerca de 85 km até desaguar no Oceano Atlântico, a sul de Vila do Conde. Os seus principais tributários são na sua margem esquerda o rio Vizela, que drena uma área de 340 km^2 e, na margem direita, o rio Este que drena uma área de 247 km^2.A bacia hidrográfica do rio Ave confronta a Norte com a bacia hidrográfica do rio Cávado, a Oriente com a bacia hidrográfica do rio Douro e a Sul com a bacia hidrográfica do rio Leça. Ocupa uma área de 1 391 km^2, dos quais cerca de 247 km^2 e 340 km^2 correspondem, respetivamente às áreas das bacias dos seus dois afluentes mais importantes: os rios Este e Vizela. As faixas costeiras a norte e a sul têm uma superfície de 3,4 km ^{2} e 64 km ^{2}, respetivamente.

O Rio Onda localizado a sul do Rio Ave, nasce na "Poça do Inferno", freguesia de Guilhabreu onde é conhecido por Rio de Moures. Esta linha de água pertence à região hidrográfica do Cávado, Ave e Leça, com um comprimento total de 10,2 km e 48,5 km^2 de área de bacia hidrográfica.

O Rio Onda desagua entre as praias de Angeiras e Labruge e possui na sua foz uma travessia pedonal que liga as duas freguesias.

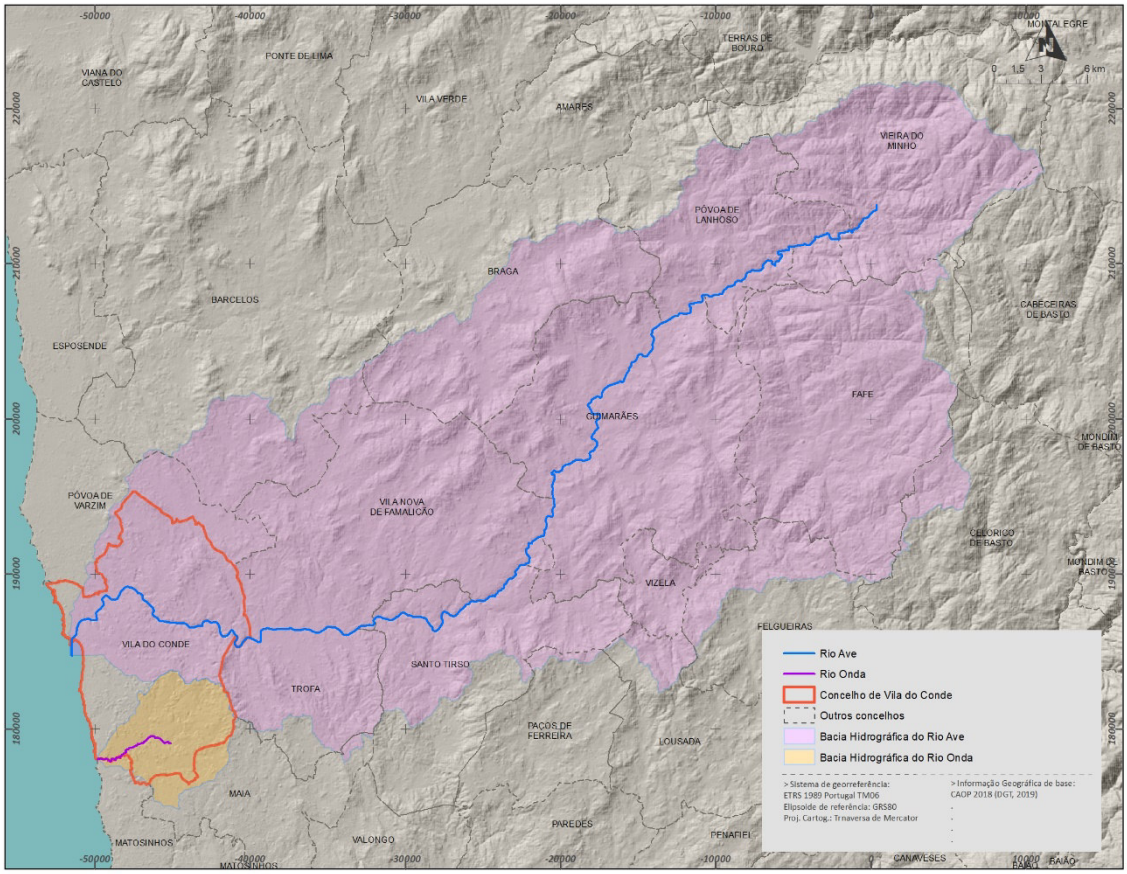


***Figura 1**: Enquadramento geográfico da bacia do rio Ave e da bacia do rio Onda*

***Quadro 2**: Área ocupada pelas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda em cada concelho.*

Bacia Hidrográfica	Concelhos	Área da bacia (km²)	Área da bacia (%)	Área do concelho (%)
Rio Ave	Barcelos	54,9	4,0	14,5
	Braga	106,5	7,7	58,1
	Cabeceiras de Basto	1,1	0,1	0,5
	Celorico de Basto	13,6	1,0	7,5
	Fafe	200,3	14,4	91,4
	Felgueiras	32,7	2,4	28,3
	Guimarães	241,0	17,3	100,0
	Lousada	10,8	0,8	11,2
	Maia	1,5	0,1	1,8
	Montalegre	0,02	0,001	0,0
	Paços de Ferreira	3,3	0,2	4,6
	Póvoa do Lanhoso	96,6	6,9	71,7
	Póvoa do Varzim	30,5	2,2	37,1
	Santo Tirso	86,0	6,2	63,0
	Trofa	62,5	4,5	86,8
	Vieira do Minho	130,6	9,4	60,3
	Vila do Conde	92,0	6,6	61,7
	Vila Nova de Famalicão	201,6	14,5	100,0
	Vizela	24,7	1,8	100,0
TOTAL		**1391**	-	-
Rio Onda	Maia	8,7	18,4	10,5
	Matosinhos	1,2	2,5	1,9
	Trofa	0,05	0,1	0,1
	Vila do Conde	37,2	79,0	25,0
TOTAL		**47,15**	-	-

2.3. As formações geológicas

As características geológicas da bacia condicionam fortemente a geração da rede de drenagem, o tipo de solo presente e consequentemente 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 ás chuvadas, quando a permeabilidade é baixa.

As bacias hidrográficas do rio Ave e Onda estão inseridas na unidade hidrogeológica "Maciço Antigo" sendo este constituído, essencialmente, por rochas eruptivas e metassedimentares.

As formações geológicas da área de estudo foram englobadas em 63 classes litológicas, em função das suas

características quanto ao comportamento hidrogeológico e hidrográfico (Figura 2 e Quadro 3).

Na bacia do rio Ave a formação mais representativa é o Granito: portifóide de grão grosseiro (34,32%) e dos Monzogranitos porfiróides, de grão médio (22,48%), que se apresentam a norte da bacia. Os xistos Xistos e grauvaques (10,46%) e os Xistos e metagrauvaques com raros níveis de metaquartzitos, Corneanas (1,17%), localizados na área central da bacia e Granito de grão médio ou grosseiro (Granito da Póvoa de Varzim) (3,92%) Monzogranito de grão fino, de duas micas, com predomínio de biotite (Granitos de Fafe e Sendim) (1,24%) e Granito porfiróide (Granito de Santo André) (1,44%) e os Aluviões atuais (3,69%) localizados no sector terminal da bacia.

Na bacia do rio Onda, a formação mais representativa é Granito de grão médio ou grosseiro (Granito da Póvoa de Varzim) (19,72%) localizados a norte da bacia e os Xistos e grauvaques, mais ou menos metamorfizados (17,71%) e Formação areno-pelítica de cobertura (4,79%) que se estendem até ao terminal da bacia.

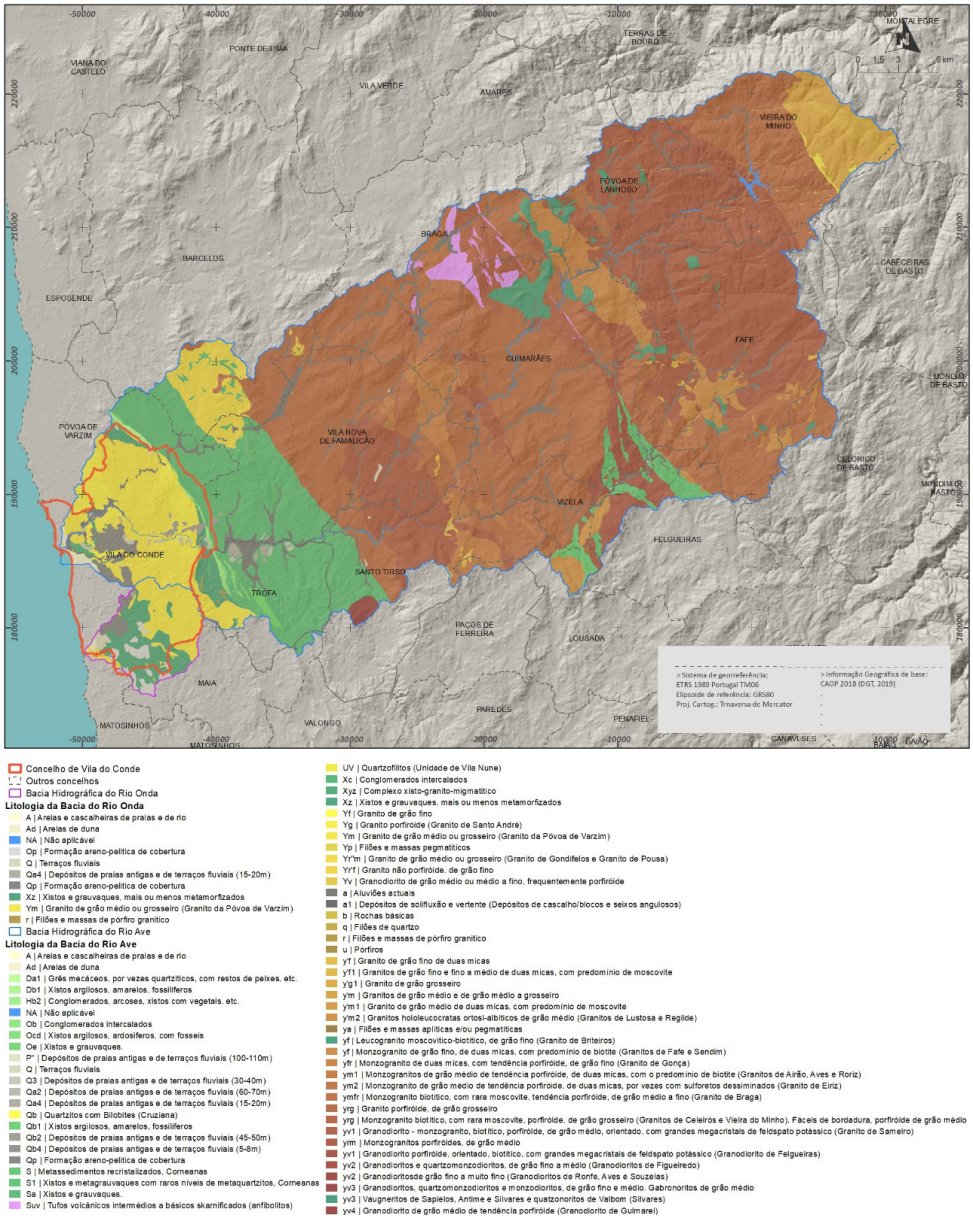


Figura 2: *Distribuição das litologias nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda (Fonte: elaborado a partir da Carta Geológica de Portugal, 1:50.000, LNEG).*

Quadro 3: *Classes litológicas presentes nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda.*

Código	Formações geológicas	Área	
		(km²)	%
Bacia hidrográfica do rio Ave			
a	Aluviões atuais	51,30	3,69
A	Areias e cascalheiras de praias e de rio	0,12	0,01
a1	Depósitos de solifluxão e vertente (Depósitos de cascalho/blocos e seixos angulosos)	0,42	0,03
Ad	Areias de duna	1,81	0,13
b	Rochas básicas	1,22	0,09
Da1	Grês mecáceos, por vezes quartziticos, com restos de peixes, etc.	1,04	0,07
Db1	Xistos argilosos, amarelos, fossiliferos	0,11	0,01
Hb2	Conglomerados, arcoses, xistos com vegetais, etc.	1,88	0,14
NA	Não aplicável	5,33	0,38
Ob	Conglomerados intercalados	0,71	0,05
Ocd	Xistos argilosos, ardosiferos, com fosseis	0,68	0,05
Oe	Xistos e grauvaques.	1,80	0,13
P''	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (100-110m)	0,34	0,02
q	Filões de quartzo	1,11	0,08
Q	Terraços fluviais	0,52	0,04
Q3	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (30-40m)	1,88	0,14
Qa2	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (60-70m)	0,04	0,003
Qa4	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (15-20m)	1,71	0,12
Qb	Quartzitos com Bilobites (Cruziana)	0,26	0,02
Qb1	Xistos argilosos, amarelos, fossiliferos	0,29	0,02
Qb2	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (45-50m)	1,67	0,12
Qb4	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (5-8m)	0,09	0,01
Qp	Formação areno-pelitica de cobertura	7,94	0,57
r	Filões e massas de pórfiro granitico	0,77	0,06
S	Metassedimentos recristalizados, Corneanas	3,93	0,28
S1	Xistos e metagrauvaques com raros níveis de metaquartzitos, Corneanas	16,22	1,17
Sa	Xistos e grauvaques.	145,43	10,46
Suv	Tufos volcânicos intermédios a básicos skarnificados (anfibolitos)	13,23	0,95
u	Pórfiros	0,04	0,003
UV	Quartzofilitos (Unidade de Vila Nune)	1,28	0,09
Xc	Conglomerados intercalados	0,22	0,02
Xyz	Complexo xisto-granito-migmatitico	1,20	0,09
Xz	Xistos e grauvaques, mais ou menos metamorfizados	8,99	0,65
y'f	Granito de grão fino de duas micas	2,77	0,20
y'f1	Granitos de grão fino e fino a médio de duas micas, com predomínio de moscovite	6,08	0,44
y'g1	Granito de grão grosseiro	23,40	1,68
y'm	Granitos de grão médio e de grão médio a grosseiro	6,85	0,49
y'm1	Granito de grão médio de duas micas, com predomínio de moscovite	0,15	0,01
y'm2	Granitos hololeucocratas ortosi-albíticos de grão médio (Granitos de Lustosa e Regilde)	8,12	0,58
ya	Filões e massas aplíticas e/ou pegmatíticas	0,72	0,05
yf	Leucogranito moscovítico-biotítico, de grão fino (Granito de Briteiros)	22,82	1,64
yf	Monzogranito de grão fino, de duas micas, com predomínio de biotite (Granitos de Fafe e Sendim)	17,24	1,24
Yf	Granito de grão fino	0,80	0,06
yfr	Monzogranito de duas micas, com tendência porfiróide, de grão fino (Granito de Gonça)	29,33	2,11
Yg	Granito porfiróide (Granito de Santo André)	20,00	1,44
Ym	Granito de grão médio ou grosseiro (Granito da Póvoa de Varzim)	54,54	3,92
ym1	Monzogranitos de grão médio de tendência porfiróide, de duas micas, com o predomínio de biotite (Granitos de Airão, Aves e Roriz)	28,50	2,05
ym2	Monzogranito de grão médio de tendência porfiróide, de duas micas, por vezes com sulforetos dessiminados (Granito de Eiriz)	2,63	0,19
ymfr	Monzogranito biotítico, com rara moscovite, tendência porfiróide, de grão médio a fino (Granito de Braga)	13,96	1,00
Yp	Filões e massas pegmatiticos	0,01	0,001
Yr''m	Granito de grão médio ou grosseiro (Granito de Gondifelos e Granito de Pousa)	28,45	2,05
Yr'f	Granito não porfiróide, de grão fino	0,02	0,002
yrg	Granito porfiróide, de grão grosseiro	477,26	34,32
yrg	Monzogranito biotítico, com rara moscovite, porfiróide, de grão grosseiro (Granitos de Celeirós e Vieira do Minho). Fáceis de bordadura, porfiróide de grão médio	2,24	0,16
yrm	Monzogranitos porfiróides, de grão médio	312,55	22,48
Yv	Granodiorito de grão médio ou médio a fino, frequentemente porfiróide	0,86	0,06
yv1	Granodiorito - monzogranito, biotítico, porfiróide, de grão médio, orientado, com grandes megacristais de feldspato potássico (Granito de Sameiro)	23,34	1,68
yv1	Granodiorito porfiróide, orientado, biotítico, com grandes megacristais de feldspato potássico (Granodiorito de Felgueiras)	26,87	1,93
yv2	Granodioritos e quartzomonzodioritos, de grão fino a médio (Granodioritos de Figueiredo)	0,81	0,06
yv2	Granodioritosde grão fino a muito fino (Granodioritos de Ronfe, Aves e Souzelas)	0,85	0,06
yv3	Granodioritos, quartzomonzodioritos e monzodioritos, de grão fino e médio. Gabronoritos de grão médio	0,75	0,05
yv3	Vaugneritos de Sapielos, Antime e Silvares e quatzonoritos de Valbom (Silvares)	1,66	0,12
yv4	Granodiorito de grão médio de tendência porfiróide (Granodiorito de Guimarei)	3,27	0,24

Bacia hidrográfica do rio Onda			
r	Filões e massas de pórfiro granítico	0,02	0,05
Ym	Granito de grão médio ou grosseiro (Granito da Póvoa de Varzim)	19,72	41,82
Ad	Areias de duna	0,42	0,89
A	Areias e cascalheiras de praias e de rio	0,01	0,01
Q	Terraços fluviais	1,21	2,57
NA	Não aplicável	0,00	0,01
Qp	Formação areno-pelítica de cobertura	3,16	6,69
Xz	Xistos e grauvaques, mais ou menos metamorfizados	17,71	37,55
Qa4	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (15-20m)	0,12	0,25
Op	Formação areno-pelítica de cobertura	4,79	10,16

Quando se analisa o substrato geológico no âmbito de um estudo sobre cheias, interessa conhecer fundamentalmente a sua permeabilidade, dado que a infiltração depende maioritariamente das características intrínsecas das rochas (Reis, 2006). A área de estudo apresenta uma grande heterogeneidade litológica, responsável por diferenças de permeabilidade do meio e consequentemente a capacidade de armazenamento de água.

De um modo geral, verifica-se a elevada presença de ocupação dos granitos a norte da bacia que representam solos com elevada quantidade de elementos grosseiros com boas capacidades de infiltração e a presença a meio da bacia de xistos que correspondem a solos argilosos, logo não favoráveis à infiltração de água.

2.4. Os Solos

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

A figura 3 representa a distribuição espacial dos tipos de solos nas bacias do rio Ave e rio Onda.

Na bacia do rio Ave verifica-se que os solos do tipo “Antrossolos” ocupam grande parte da bacia, cerca de 42,18% da bacia que são solos de textura grosseira a média em que dominam teores elevados de areia fina e limo, elevado teor de elementos grosseiros, baixos teores de matéria orgânica, sub-ácidos e baixos teores em bases (Estudos & documentos, 2000).

Os “Regossolos” ocupam cerca de 36,79% da área, sendo solos pouco evoluídos. de material não consolidado, apresentam-se por vezes muito compactado e duro o que dificulta o desenvolvimento radicular de espécies vegetais. A textura destes solos é predominantemente franco-argilosa. Do ponto de vista químico são solos com valores de capacidade de troca catiónica elevados.

A sul da bacia prevalecem os solos do tipo “Cambissolos” (5,84%), que se caraterizam por Solos pouco evoluídos que se desenvolvem a partir de materiais de alteração da rocha subjacente ou a partir de materiais de transporte de outros locais. Encontram-se sobretudo nas áreas que num passado recente foram utilizadas na agricultura. A textura destes solos varia entre franca, franco-argilosa e franco-limosa.

Relativamente à bacia do rio Onda, os “Cambissolos ocupam a maioria da área da bacia, cerca de 72,06%, seguindo-se os “Antrossolos” (6,92%) e os “Arenossolos” (0,34%)

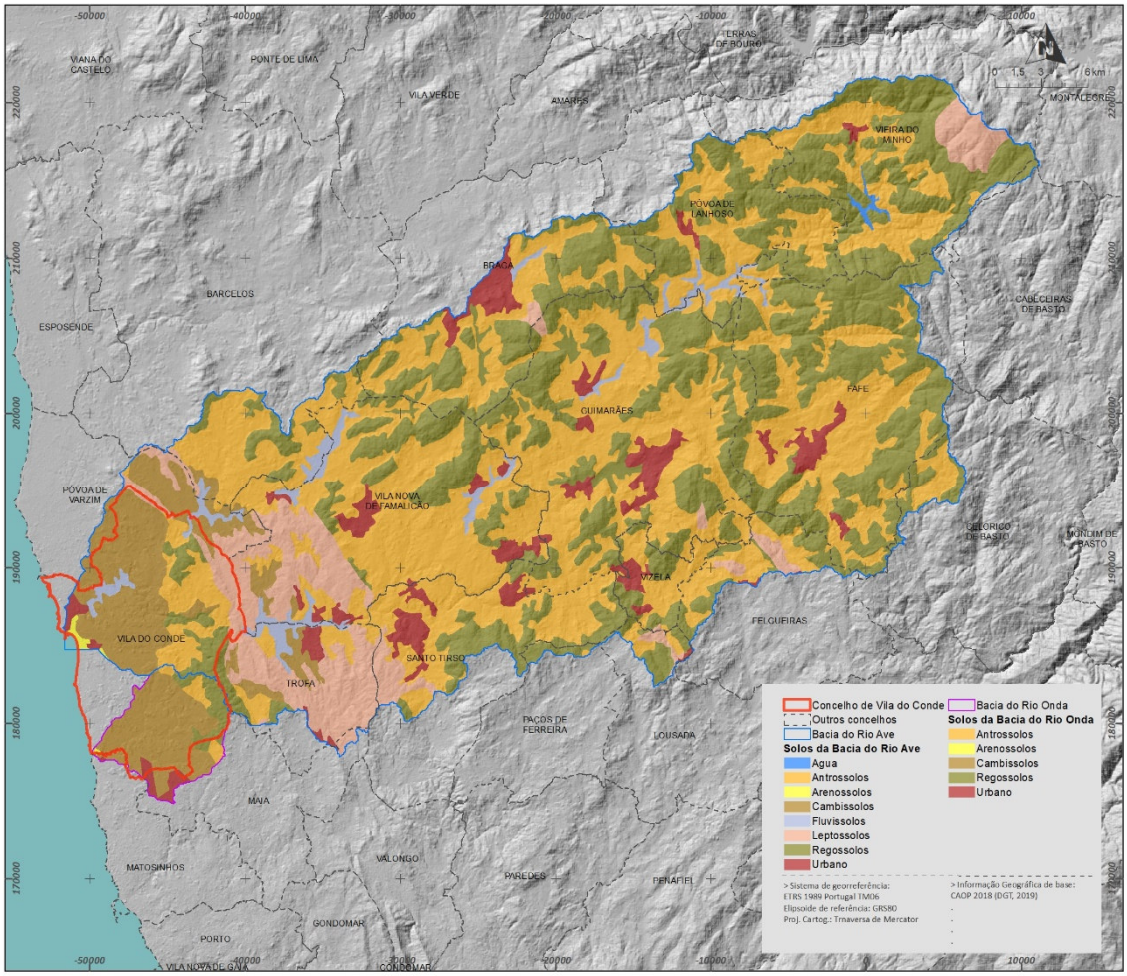


Figura 3: *Distribuição espacial dos Tipos de Solos (tipo predominante em cada mancha) nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda (Fonte: elaborado a partir da Carta de Solos e Carta de Aptidão da Terra para a Agricultura à escala 1:100.000, DGADR).*

Quadro 4: *Tipo de solos nas bacias do rio Ave e Onda*

Tipo de Solos	Área	
	(km²)	%
Bacia hidrográfica do rio Ave		
Antrossolos	586,54	42,18
Arenossolos	1,30	0,09
Cambissolos	81,13	5,84
Fluvissolos	29,25	2,10
Leptossolos	114,38	8,23
Regossolos	511,48	36,79
Agua	1,76	0,13
Urbano	64,59	4,65
Bacia hidrográfica do rio Onda		
Antrossolos	3,26	6,92
Arenossolos	0,16	0,34
Cambissolos	33,98	72,06
Regossolos	6,45	13,69
Urbano	3,30	7,00

2.5. Relevo

A altitude da bacia hidrográfica do rio Ave varia entre os 1262 metros no concelho de Vieira do Minho e -10 metros na área terminal da bacia na confluência com o oceano atlântico. A maioria da bacia localiza-se entre os 100 e os 300 metros de altitude (73,11%).

A áreas de planície, ocupam cerca de 18,54% da área localizadas na área terminal da bacia, ocupando grande parte do concelho de Vila do Conde.

Na bacia do rio Onda, as classes de altitude são menores variando dos -10 metros até aos 100 metros.

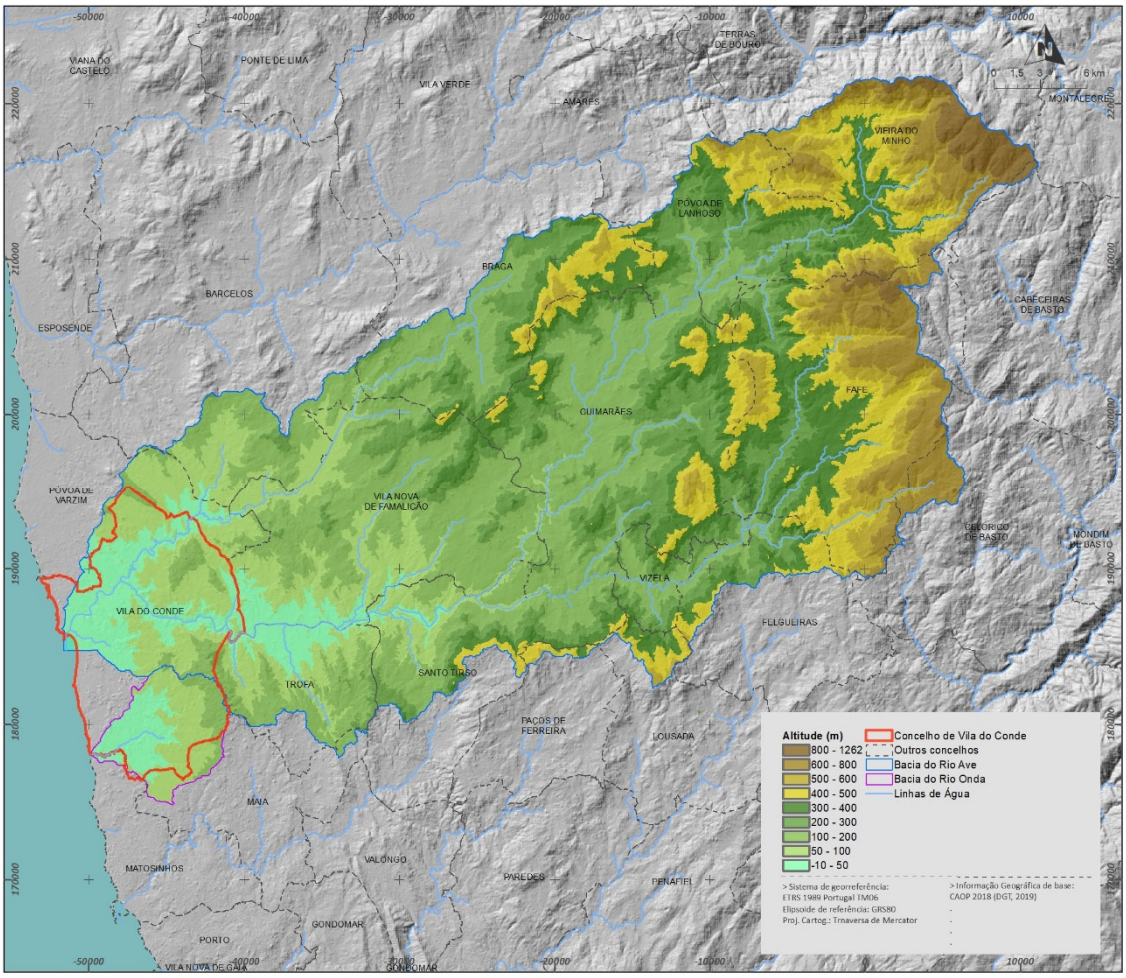


Figura 4: *Distribuição da altitude na área de estudo*

Quadro 5: *Classes de altitude nas bacias hidrográficas da área de estudo*

Código	Distribuição das classes de Altitude	Área	
		(km²)	%
Bacia hidrográfica do rio Ave			
1	-10 - 50	85,6	6,15
2	50 - 100	172,3	12,39
3	100 - 200	395,8	28,45
4	200 – 300	210,3	15,12
5	300 – 400	178,1	12,80

6	400 – 500	148,0	10,64
7	500 – 600	84,8	6,10
8	600 – 800	88,9	6,40
9	800 - 1262	27,3	1,96
Bacia hidrográfica do rio Onda			
1	-10 - 50	17,6	37,35
2	50 - 100	21,8	46,24
3	100 - 200	7,6	16,14
4	200 – 300	0,1	0,27

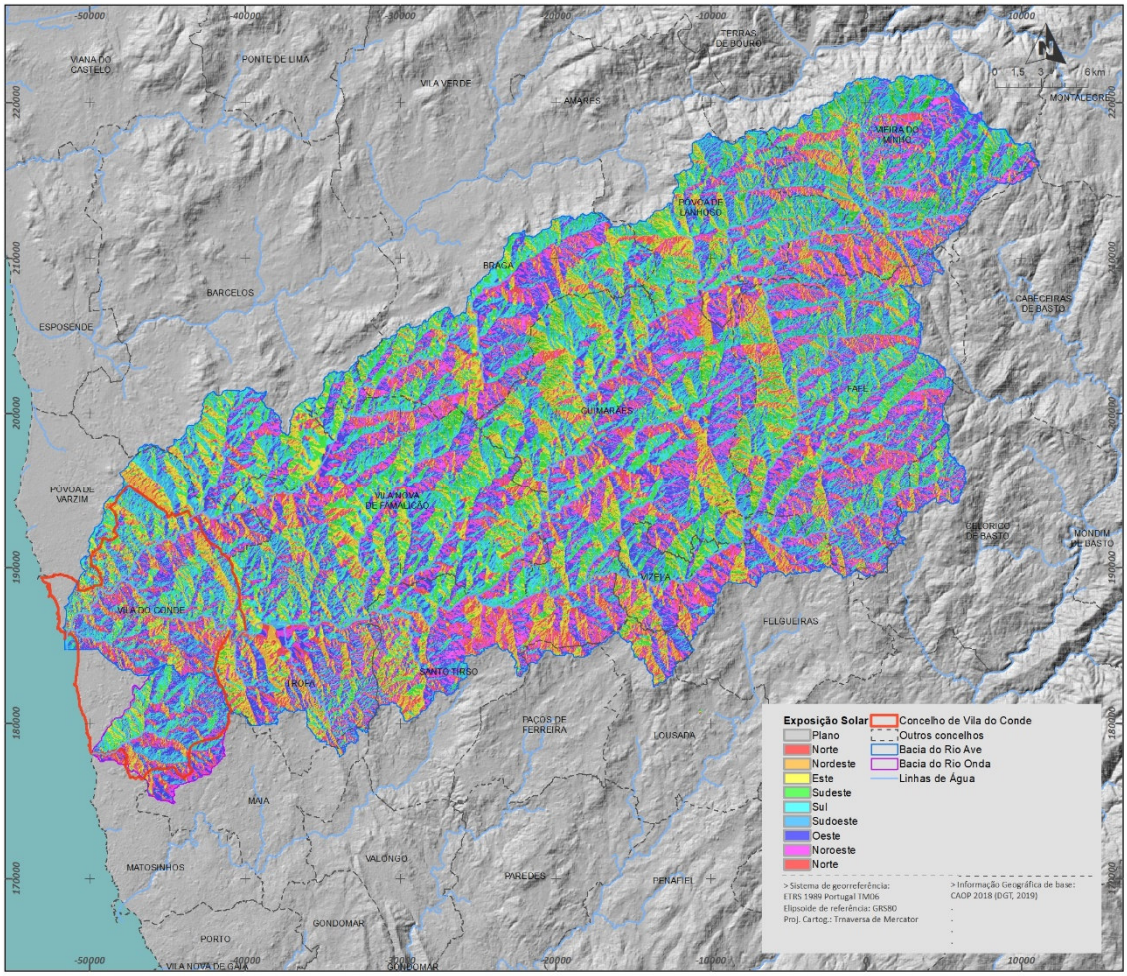


Figura 5: *Distribuição da exposição solar na área de estudo*

Quadro 6: *Distribuição das classes de altitude na área de estudo*

Código	Distribuição das classes de Altitude	Área	
		(km²)	%
Bacia hidrográfica do rio Ave			
1	Plano	0	0
2	Norte	134,83	9,68
3	Nordeste	127,16	9,14
4	Este	156,24	11,23
5	Sudeste	184,31	13,25
6	Sul	192,73	13,86
7	Sudoeste	189,89	13,65

8	Oeste	217,55	15,64
9	Nordeste	188,30	13,54
Bacia hidrográfica do rio Onda			
1	Plano	0	0
2	Norte	2,00	4,23
3	Nordeste	5,81	12,32
4	Este	2,94	6,23
5	Sudeste	4,33	9,19
6	Sul	6,98	14,79
7	Sudoeste	9,00	19,08
8	Oeste	9,60	20,36
9	Nordeste	6,50	13,79

De todos os elementos geomorfológicos, acaba por ser o declive que maior preponderância tem em situações de cheia (Leal, 2011). O declive interfere na velocidade de escoamento e na infiltração (Ramos 2009). Desta forma, quanto maior for a inclinação das vertentes e dos canais fluviais maior será a velocidade e a energia potencial do escoamento e, por isso, menor será a infiltração ao longo das vertentes e o tempo que a água demora a concentrar-se nos leitos fluviais, com o consequente aumento dos caudais de ponta, da erosão hídrica e fluvial e do transporte de sedimentos (Ramos, 1994; Ramos, 2009; Leal, 2011).

Na bacia hidrográfica do rio Ave, os declives mais baixos, inferiores a 10º ocupam cerca de 60.3% da área da bacia, enquanto que os declives mais acentuados, superiores a 25º (3,9%) se localizam a norte da bacia.

A bacia hidrográfica do rio Onda, os declives mais baixos, inferiores a 10º ocupam na globalidade a área da bacia, cerca de 95,4%.

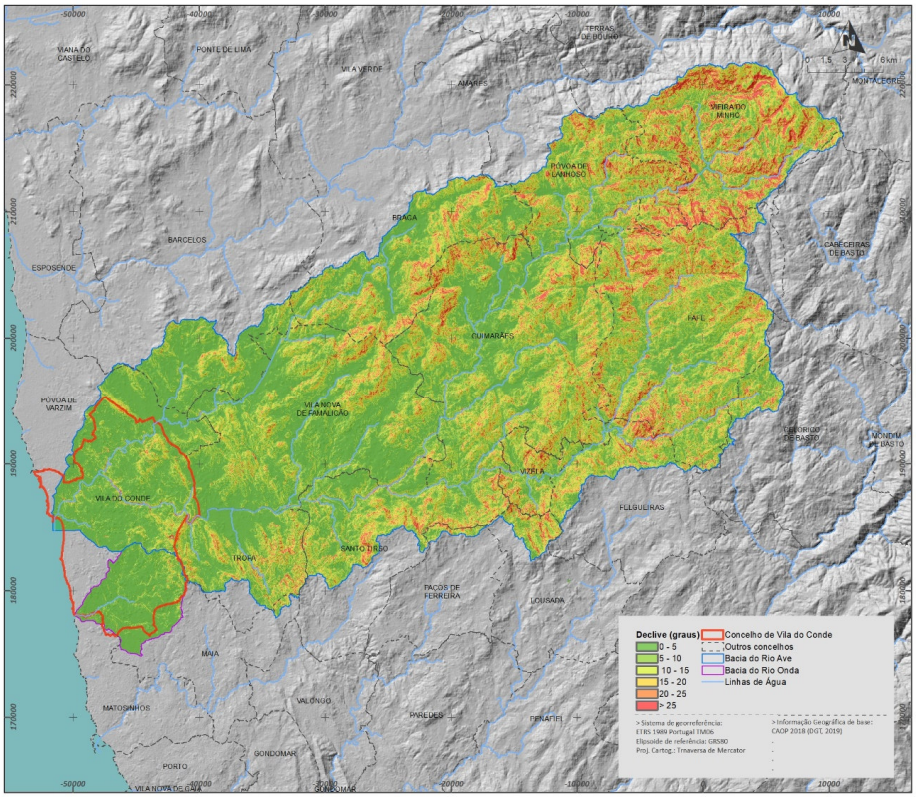


Figura 6: *Distribuição dos declives na área de estudo.*

Quadro 7: *Classes de declive nas bacias hidrográficas da área de estudo*

Código	Distribuição das classes de Declive (graus)	Área	
		(km^2)	%
Bacia hidrográfica do rio Ave			
1	0 - 5	461,8	33,2
2	5 – 10	376,6	27,1
3	10 – 15	247,4	17,8
4	15 – 20	160,8	11,6
5	20 – 25	90,2	6,5
6	> 25	54,1	3,9
Bacia hidrográfica do rio Onda			
1	0 - 5	38,9	82,5
2	5 – 10	6,7	12,9
3	10 – 15	1,5	3,2
4	15 – 20	0,5	1,0
5	20 – 25	0,1	0,3
6	> 25	0,05	0,1

2.6. Hidrografia

O rio Ave é o principal curso de água da bacia hidrográfica do Ave que nasce na Serra da Cabreira, no concelho de Vieira do Minho a 1200 m de altitude até desaguar no oceano atlântico, no concelho de Vila do Conde.

A bacia hidrográfica integra 15 municípios e contem como afluentes os seguintes rios: rio Este, rio Pele, rio Selho e rio Vizela.

O rio **Este** nasce no concelho de Braga entre a Serra do Carvalho e a Serra dos Picos a 465 metros de altitude, tem 45 Km de extensão e desagua na margem direita do rio Ave, na freguesia de Touguinha.

O rio **Vizela** nasce no Alto de Morgaír, na freguesia de Gontim, concelho de Fafe, tem uma extensão de 45 km e desagua na margem esquerda do rio Ave, no concelho tirsense.

O Rio **Selho** nasce em Santa Marinha, no concelho de Guimarães, a 580 metros de altitude com um comprimento de 20,908 km e tem confluência com o rio Ave na freguesia de Gondar, em Guimarães.

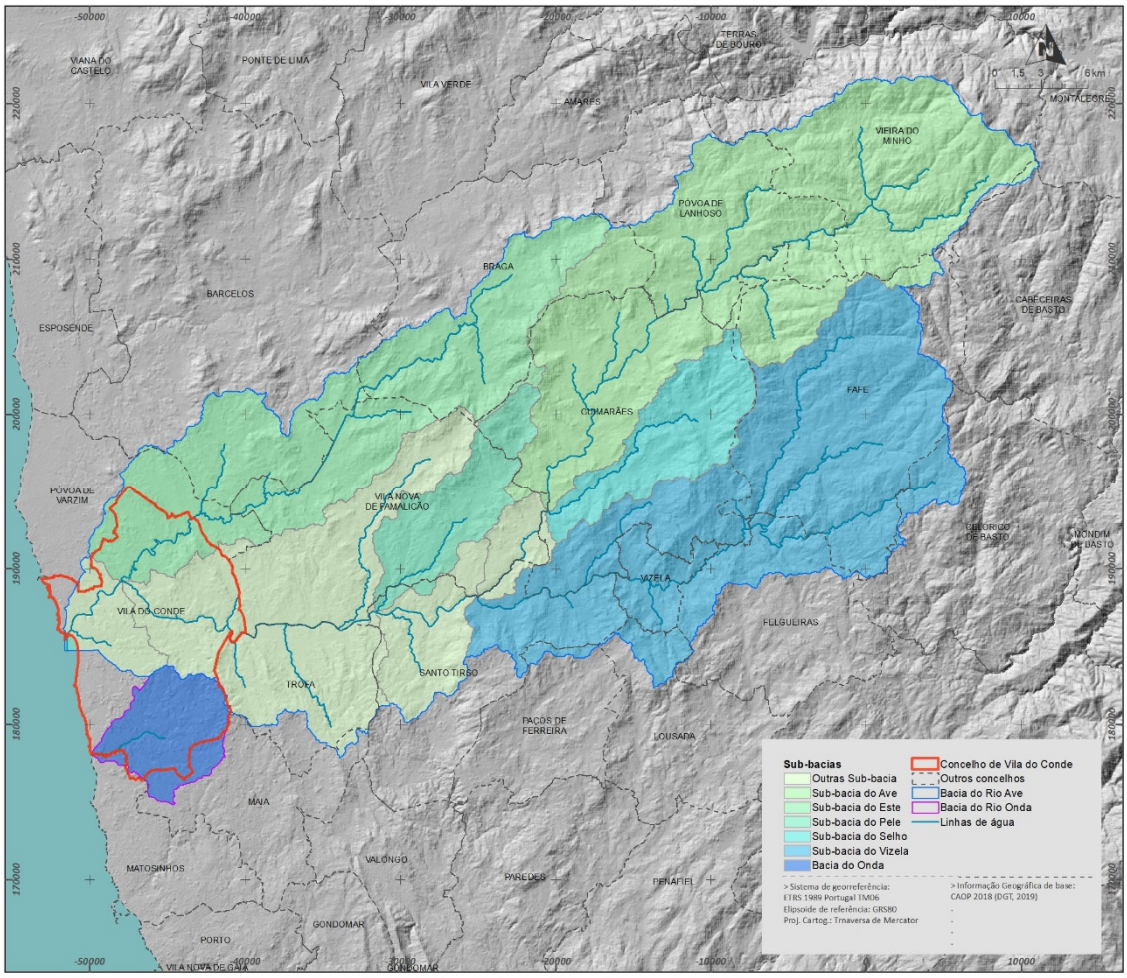


Figura 7: *Principais sub-bacias e cursos de água nas bacias hidrográficas da área de estudo*

2.7. Ocupação do solo

A ocupação do solo é fator variável, mas também importante no estudo das cheias. A análise da ocupação solo na área de estudo realizou-se a uma escala intermédia, 1:25000, teve por base a informação Carta de Ocupação do Solo (COS) da DGT, de 2015.

De forma geral, a partir da análise efetuada, na bacia hidrográfica do rio Ave, as áreas florestais encontram-se a montante e as áreas agrícolas no sector intermédio. As áreas impermeabilizadas (tecido urbano) localizam-se a meio da bacia hidrográfica, nomeadamente nas bacias do rio Vizela, nos concelhos de Guimarães, Vizela, Famalicão, Santo Tirso.

Ao longo das últimas décadas, o aumento da área destas áreas impermeabilizadas, alteraram as condições de infiltração e escoamento, levando à diminuição das condições de infiltração promovendo o escoamento superficial e ocorrência de inundações em áreas ribeirinhas, nomeadamente na foz do rio Ave, na cidade de Vila do Conde.

Na bacia hidrográfica do rio Onda prevalecem as áreas agrícolas (48,5%) e florestais (27,33%) em relação às áreas impermeabilizadas que ocupam cerca de 22.7% da área da bacia.

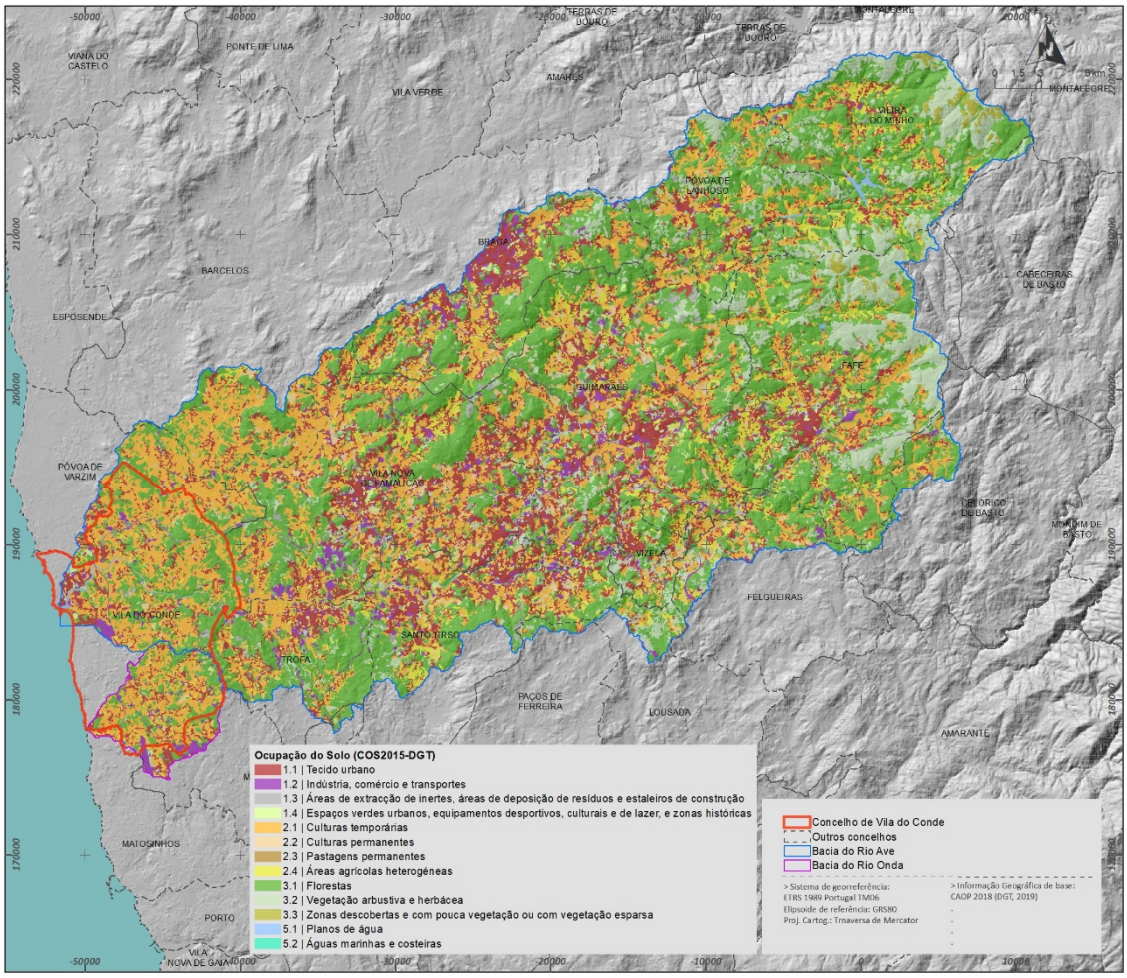


Figura 8: *Distribuição da ocupação do solo na área de estudo.*

Quadro 8: *Classes de ocupação do solo nas bacias hidrográficas da área de estudo*

Código Classe (N.5)	Classe de Ocupação do Solo (Nível 5)	Área (km²)	Área (%)	Código Classe (N.1)	Classe de Ocupação do Solo (Nível 2)	Área (km²)	Área (%)
Bacia hidrográfica do rio Ave							
1.1.1.00.0	Tecido urbano contínuo	58,09	4,17%	1.1	Tecido urbano	218,2	15,7%
1.1.2.00.0	Tecido urbano descontínuo	160,06	11,50%				
1.2.1.00.0	Indústria, comércio e equipamentos gerais	31,10	2,23%	1.2	Indústria, comércio e transportes	40,7	2,9%
1.2.2.00.0	Rede viária e espaços associados	9,57	0,69%				
1.2.4.00.0	Aeroportos e aeródromos	0,02	0,00%				
1.3.1.00.0	Áreas de extração de inertes	4,34	0,31%	1.3	Áreas de extração de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção	11,6	0,8%
1.3.2.00.0	Áreas de deposição de resíduos	0,90	0,06%				
1.3.3.00.0	Áreas em construção	6,34	0,46%				
1.4.1.00.0	Espaços verdes urbanos	2,25	0,16%	1.4	Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas	6,1	0,4%
1.4.2.01.1	Campos de golfe	0,02	0,00%				
1.4.2.02.0	Outras Instalações desportivas e equipamentos de lazer	2,86	0,21%				
1.4.2.03.0	Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas	0,95	0,07%				
2.1.0.00.0	Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	284,58	20,45%	2.1	Culturas temporárias	284,6	20,4%
2.2.1.00.0	Vinhas	23,14	1,66%	2.2	Culturas permanentes	32,6	2,3%
2.2.2.00.0	Pomares	9,24	0,66%				
2.2.3.00.0	Olivais	0,21	0,02%				
2.3.1.01.1	Pastagens permanentes	2,97	0,21%	2.3	Pastagens permanentes	3,0	0,2%
2.4.1.00.0	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	17,40	1,25%	2.4	Áreas agrícolas heterogéneas	97,4	7,0%

2.4.2.01.1	Sistemas culturais e parcelares complexos	35,92	2,58%				
2.4.3.01.1	Agricultura com espaços naturais e seminaturais	43,95	3,16%				
2.4.4.00.3	SAF de outros carvalhos	0,03	0,002%				
2.4.4.00.4	SAF de pinheiro manso	0,11	0,01%				
3.1.1.00.1	Florestas de sobreiro	0,05	0,00%	3.1	Florestas	540,6	38,8%
3.1.1.00.3	Florestas de outros carvalhos	30,60	2,20%				
3.1.1.00.4	Florestas de castanheiro	0,44	0,03%				
3.1.1.00.5	Florestas de eucalipto	329,19	23,65%				
3.1.1.00.6	Florestas de espécies invasoras	0,65	0,05%				
3.1.1.00.7	Florestas de outras folhosas	75,05	5,39%				
3.1.2.00.1	Florestas de pinheiro bravo	101,59	7,30%				
3.1.2.00.2	Florestas de pinheiro manso	0,28	0,02%				
3.1.2.00.3	Florestas de outras resinosas	2,77	0,20%				
3.2.1.01.1	Vegetação herbácea natural	12,05	0,87%	3.2	Vegetação arbustiva e herbácea	142,8	10,3%
3.2.2.00.0	Matos	130,71	9,39%				
3.3.0.00.0	Espaços descobertos ou com pouca vegetação	9,27	0,67%	3.3	Zonas descobertas e com pouca vegetação ou com vegetação esparsa	9,3	0,7%
5.1.1.00.0	Cursos de água naturais	3,34	0,24%	5.1	Planos de água	5,1	0,4%
5.1.2.00.0	Planos de água	1,73	0,12%				
5.2.3.01.1	Oceano	0,00001	0,00%	5.2	Águas marinhas e costeiras	0,00001	0,00%
Bacia hidrográfica do rio Onda							
1.1.1.00.0	Tecido urbano contínuo	1,37	2,90%	1.1	Tecido urbano	7,1	15,1%
1.1.2.00.0	Tecido urbano descontínuo	5,78	12,21%				
1.2.1.00.0	Indústria, comércio e equipamentos gerais	2,20	4,65%	1.2	Indústria, comércio e transportes	3,6	7,6%
1.2.2.00.0	Rede viária e espaços associados	0,41	0,87%				
1.2.4.00.0	Aeroportos e aeródromos	0,97	2,06%				
1.3.3.00.0	Áreas em construção	0,32	0,67%	1.3	Áreas de extração de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção	0,3	0,7%
1.4.1.00.0	Espaços verdes urbanos	0,05	0,10%	1.4	Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas	0,3	0,6%
1.4.2.02.0	Outras Instalações desportivas e equipamentos de lazer	0,17	0,35%				
1.4.2.03.0	Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas	0,08	0,17%				
2.1.0.00.0	Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	19,66	41,55%	2.1	Culturas temporárias	19,7	41,5%
2.2.1.00.0	Vinhas	0,04	0,09%	2.2	Culturas permanentes	0,6	1,3%
2.2.2.00.0	Pomares	0,59	1,25%				
2.3.1.01.1	Pastagens permanentes	0,05	0,10%	2.3	Pastagens permanentes	0,0	0,1%
2.4.2.01.1	Sistemas culturais e parcelares complexos	1,98	4,18%	2.4	Áreas agrícolas heterogéneas	2,7	5,6%
2.4.3.01.1	Agricultura com espaços naturais e seminaturais	0,70	1,47%				
3.1.1.00.5	Florestas de eucalipto	8,08	17,08%	3.1	Florestas	12,6	26,5%
3.1.1.00.7	Florestas de outras folhosas	0,26	0,54%				
3.1.2.00.1	Florestas de pinheiro bravo	4,19	8,86%				
3.1.2.00.2	Florestas de pinheiro manso	0,02	0,05%				
3.2.1.01.1	Vegetação herbácea natural	0,13	0,26%	3.2	Vegetação arbustiva e herbácea	0,4	0,8%
3.2.2.00.0	Matos	0,27	0,56%				
3.3.0.00.0	Espaços descobertos ou com pouca vegetação	0,02	0,04%	3.3	Zonas descobertas e com pouca vegetação ou com vegetação esparsa	0,02	0,0004
5.2.3.01.1	Oceano	0,000001	0,00%	5.2	Águas marinhas e costeiras	0,000001	0,00

3. Capítulo II: Distribuição da precipitação

A caracterização climática aborda a forma como varia a precipitação na região das bacias hidrográficas do Ave e do Onda, onde se insere a área de estudo. Para perceber o comportamento de variáveis climáticas como a precipitação é necessário o conhecimento da evolução e do comportamento espácio-temporal da mesma.

Os dados na base deste estudo são os de 48 estações climatológicas e udométricas do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (http://snirh.pt) do Instituto da Água distribuídas na área de estudo (bacias hidrográficas do Ave e do Onda) e na sua proximidade (até 10km de distância) (**Figura 9**).

Esta análise da distribuição espacial e temporal incide em séries de registos que, na maioria das vezes, não possuem extensão suficiente e nem sempre possuem um período comum de registos para todas as estações climatológicas e udométricas. Desta forma, consideram-se os períodos disponíveis em cada estação, com base no qual foram analisados quantitativos de precipitação anual e mensal para a área de estudo.

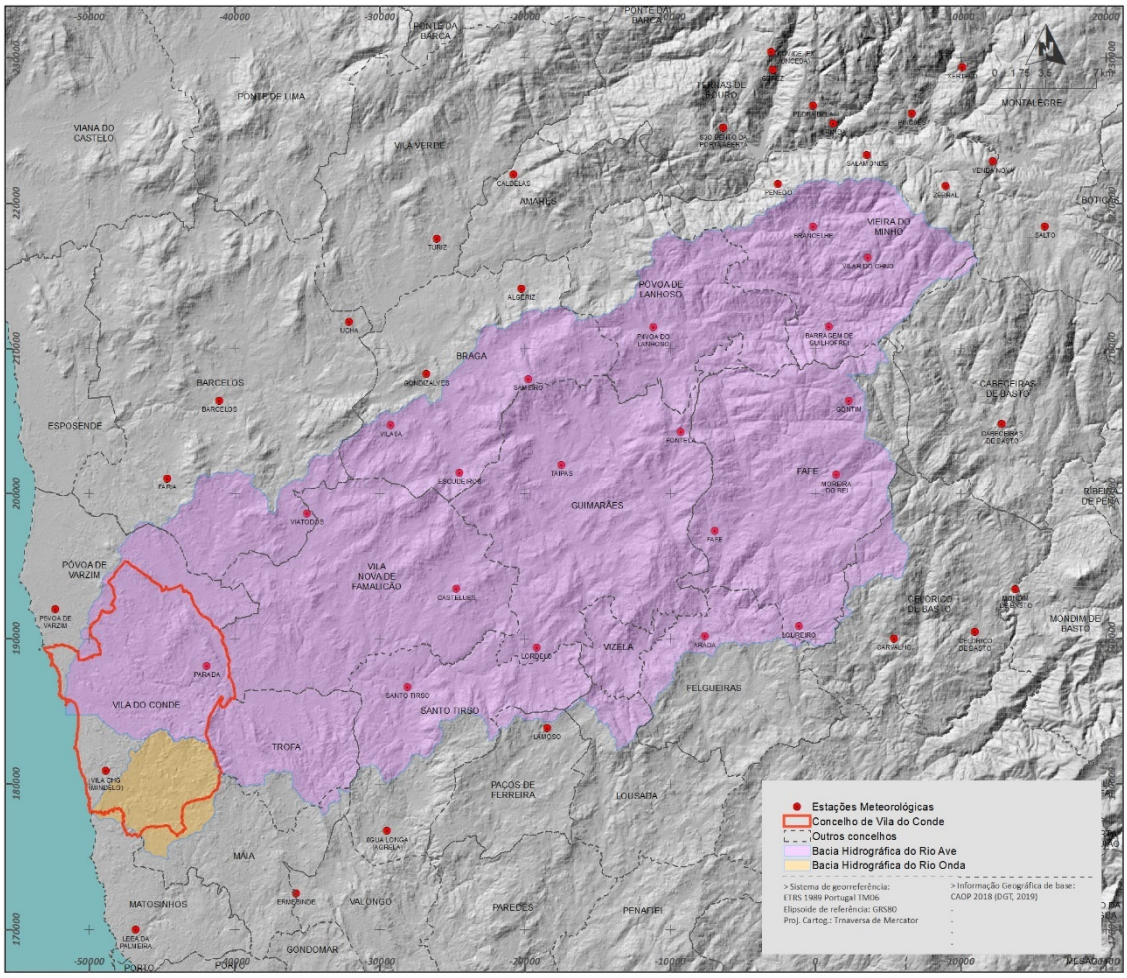


Figura 9: *Localização das estações meteorológicas em estudo.*

3.1. Procedimentos para análise dos dados pluviométricos

i. Características das estações climatológicas e udométricas

A área de estudo e a área envolvente possuem vários postos de monitorização da precipitação (**Figura 9**); a maior parte delas possuem longos períodos de registos históricos. Duas das estações (Santo Tirso e água Longa - Agrela), a primeira localizada no interior da área de estudo, foram excluídas por possuíram um período de registos muito reduzido (3 anos), o que inviabiliza a sua utilização.

O **Quadro 9** descreve as principais características das estações meteorológicas. Estas estações possuem, em geral, cinco parâmetros pluviométricos (**Quadro 10**): precipitação anual, precipitação mensal, precipitação diária, precipitação diária máxima anual e precipitação horária. No entanto, consta-se uma enorme discrepância nas séries disponíveis para os diferentes parâmetros, constatando-se períodos muito mais curtos nos parâmetros com menor extensão temporal, em particular na precipitação horária.

Quadro 9: *Características das estações meteorológicas (Fonte: SNIRH).*

Código	Estação	M (m)	P (m)	Altitude (m)	Tipo	Bacia
04G/04UG	Algeriz	179784	514132	146	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
05H/03UG	Arada	192428	490167	196	Udométrica	Ave
04F/01C	Barcelos	159004	506433	36	Climatológica	Cávado/Ribeiras Costeiras
04I/01CG	Barragem de Guilhofrei	200953	511543	374	Climatológica	Ave
04I/02UG	Brancelhe	199887	518391	379	Udométrica	Ave
04J/06UG	Cabeceiras de Basto	212850	504829	263	Udométrica	Douro
03G/04UG	Caldelas	179274	521970	93	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
05I/02G	Carvalho	205440	490010	504	Udográfica	Douro
05G/03UG	Castelões	175329	493425	147	Udométrica	Ave
05I/01UG	Celorico de Basto	211016	490480	227	Udométrica	Douro
03H/02UG	Covide (Ex. Junceda)	196975	530425	895	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
06F/03UG	Ermesinde	164295	472511	73	Udométrica	Leça
03I/07G	Ermida	201251	525488	337	Udográfica	Cávado/Ribeiras Costeiras
05G/05UG	Escudeiros	175550	501465	190	Udométrica	Ave
05H/01UC	Fafe	193132	497416	259	Udométrica	Ave
05F/03UG	Faria	155409	501067	65	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
04H/02UG	Fontela	190773	504298	335	Udométrica	Ave
03I/05U	Gerez	197090	529191	664	Udom-Trica	Cávado/Ribeiras Costeiras
04G/06C	Gondizalves	173255	508260	90	Climatológica	Cávado/Ribeiras Costeiras
04I/05UG	Gontim	202344	506422	695	Udométrica	Ave
06G/02UG	Lamoso	181560	483861	381	Udométrica	Douro
06E/02UG	Leça da Palmeira	153261	470012	17	Udométrica	Leça
05G/06UG	Lordelo	180863	489391	110	Udométrica	Ave
05I/03UG	Loureiro	198887	490859	479	Udométrica	Douro
05J/01U	Mondim de Basto	213799	493415	185	Udom-Trica	Douro
05I/04G	Moreira do Rei	201464	501361	505	Udográfica	Ave
05F/02UG	Parada	158142	488123	59	Udométrica	Ave
03I/06UG	Pedra Bela	199864	526722	714	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
04I/06UG	Penedo	197474	521338	536	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
03I/08UG	Pincães	206675	526166	479	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
05E/03UG	Póvoa de Varzim	147710	492048	18	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
04H/01UG	Póvoa do Lanhoso	188882	511490	173	Udométrica	Ave
03I/09UG	Salamonde	203564	523329	600	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
04J/02C	Salto	215834	518410	837	Climatológica	Cávado/Ribeiras Costeiras
04G/02UG	Sameiro	180277	507929	559	Udométrica	Ave
05G/02C	Santo Tirso	171966	486669	54	Climatológica	Ave
03H/03UG	São Bento da Porta Aberta	193706	525190	357	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
05G/04UG	Taipas	182534	502031	115	Udométrica	Ave
04G/03UG	Turiz	173984	517575	70	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
04F/03UG	Ucha	167940	511861	52	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
03J/07G	Venda Nova	212239	522876	707	Udográfica	Cávado/Ribeiras Costeiras
05F/01UG	Viatodos	165049	498607	83	Udométrica	Ave
06E/03UG	Vila Chã (Mindelo)	151190	480917	37	Udométrica	Ave
04I/04UG	Vilar do Chão	203638	516264	592	Udométrica	Ave
04G/05UG	Vilaça	170784	504753	140	Udométrica	Ave
03I/04G	Xertelo	210148	529352	711	Udográfica	Cávado/Ribeiras Costeiras
04I/03UG	Zebral	209003	521174	857	Udométrica	Cávado/Ribeiras Costeiras
06G/03G	Água Longa (Agrela)	170546	476808	123	Udométrica	Douro

***Quadro 10**: Estações, parâmetros de precipitação e respetivos períodos de dados (Fonte: SNIRH).*

Estação	Parâmetro	N.º Valores	Data Início	Data Final
ALGERIZ (04G/04UG)	Precipitação anual	18	01/10/1980	01/10/2008
	Precipitação diária	1371	01/10/1989	04/12/2014
	Precipitação diária máxima anual	16	27/02/1981	10/04/2009
	Precipitação horária	27367	15/02/2007	03/01/2015
	Precipitação mensal	238	01/06/1980	01/11/2014
ARADA (05H/03UG)	Precipitação anual	71	01/10/1932	01/10/2015
	Precipitação diária	8767	01/10/1983	06/06/2017
	Precipitação diária máxima anual	72	21/09/1932	04/01/2016
	Precipitação horária	46876	25/05/2006	06/06/2017
	Precipitação mensal	904	01/04/1932	01/05/2017
BARCELOS (04F/01C)	Precipitação anual	71	01/10/1932	01/10/2007
	Precipitação diária	29355	01/01/1932	29/11/2017
	Precipitação diária máxima anual	71	05/12/1932	15/05/2008
	Precipitação horária	89469	27/02/2003	30/11/2017
	Precipitação mensal	941	01/01/1932	01/10/2017
BARRAGEM DE GUILHOFREI (04I/01CG)	Precipitação anual	53	01/10/1939	01/10/2008
	Precipitação diária	15506	01/05/1957	27/09/2016
	Precipitação diária máxima anual	51	17/01/1940	23/01/2009
	Precipitação horária	38239	16/02/2007	27/09/2016
	Precipitação mensal	720	01/10/1939	01/08/2016
BRANCELHE (04I/02UG)	Precipitação anual	75	01/10/1932	01/10/2008
	Precipitação diária	29047	01/12/1931	10/10/2016
	Precipitação diária máxima anual	77	09/10/1932	03/12/2008
	Precipitação horária	76342	01/04/2003	10/10/2016
	Precipitação mensal	947	01/12/1931	01/09/2016
CABECEIRAS DE BASTO (04J/06UG)	Precipitação anual	86	01/10/1913	01/10/1998
	Precipitação diária	33120	01/09/1913	17/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	85	10/06/1914	19/09/1999
	Precipitação horária	38787	13/02/2007	17/07/2017
	Precipitação mensal	1085	01/01/1913	01/06/2017
CALDELAS (03G/04UG)	Precipitação anual	72	01/10/1932	01/10/2015
	Precipitação diária	27849	01/12/1931	07/06/2017
	Precipitação diária máxima anual	73	05/12/1932	04/01/2016
	Precipitação horária	46835	01/06/2006	07/06/2017
	Precipitação mensal	910	01/12/1931	01/05/2017
CARVALHO (05I/02G)	Precipitação anual	35	01/10/1960	01/10/1994
	Precipitação diária	15340	01/07/1960	17/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	36	17/11/1960	14/02/1995
	Precipitação horária	53801	10/05/2006	17/07/2017
	Precipitação mensal	491	01/07/1960	01/06/2017
CASTELÕES (05G/03UG)	Precipitação anual	25	01/10/1979	01/10/2010
	Precipitação diária	10753	01/10/1979	04/04/2012
	Precipitação diária máxima anual	27	08/05/1980	18/12/2010
	Precipitação horária	69351	07/02/2003	04/04/2012
	Precipitação mensal	347	01/10/1979	01/03/2012
CELORICO DE BASTO (05I/01UG)	Precipitação anual	64	01/10/1932	01/10/2015
	Precipitação diária	24206	22/06/1932	21/06/2017
	Precipitação diária máxima anual	65	05/12/1932	10/01/2016
	Precipitação horária	40005	10/05/2006	22/06/2017
	Precipitação mensal	819	01/06/1932	01/05/2017
COVIDE (EX, JUNCEDA) (03H/02UG)	Precipitação anual	54	01/10/1948	01/10/2015
	Precipitação diária	3917	01/10/1989	12/10/2016
	Precipitação diária máxima anual	52	11/12/1948	04/01/2016
	Precipitação horária	47465	23/11/2005	12/10/2016
	Precipitação mensal	695	01/10/1948	01/09/2016
ERMESINDE (06F/03UG)	Precipitação anual	22	01/10/1979	01/10/2005
	Precipitação diária	10519	01/10/1979	16/03/2017
	Precipitação diária máxima anual	22	26/03/1980	02/12/2005
	Precipitação horária	63470	24/03/2003	16/03/2017
	Precipitação mensal	339	01/10/1979	01/12/2016
ERMIDA (03I/07G)	Precipitação anual	54	01/10/1950	01/10/2005
	Precipitação diária	22484	23/12/1949	03/08/2017
	Precipitação diária máxima anual	57	21/11/1950	02/12/2005
	Precipitação horária	83017	02/04/2003	03/08/2017
	Precipitação mensal	732	01/01/1950	01/07/2017
ESCUDEIROS (05G/05UG)	Precipitação anual	26	01/10/1980	01/10/2007
	Precipitação diária	11183	01/05/1980	03/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	26	27/02/1981	06/09/2008
	Precipitação horária	80726	27/02/2003	03/07/2017
	Precipitação mensal	363	01/05/1980	01/06/2017
FAFE (05H/01UC)	Precipitação anual	69	01/10/1932	01/10/2000
	Precipitação diária	25787	01/12/1931	03/12/2003
	Precipitação diária máxima anual	70	04/12/1932	21/03/2001
	Precipitação horária	4516	29/05/2003	03/12/2003
	Precipitação mensal	847	01/12/1931	01/11/2003
FARIA	Precipitação anual	25	01/10/1980	01/10/2007

(05F/03UG)	Precipitação diária	11153	01/06/1980	04/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	25	26/02/1981	16/08/2008
	Precipitação horária	72241	21/05/2003	04/07/2017
	Precipitação mensal	360	01/06/1980	01/06/2017
FONTELA (04H/02UG)	Precipitação anual	23	01/10/1980	01/10/2015
	Precipitação diária	10136	01/06/1980	06/06/2017
	Precipitação diária máxima anual	23	27/02/1981	13/02/2016
	Precipitação horária	51975	01/04/2006	06/06/2017
	Precipitação mensal	329	01/06/1980	01/05/2017
GEREZ (03I/05U)	Precipitação anual	36	01/10/1900	01/10/1960
	Precipitação diária	5524	01/01/1900	30/04/1963
	Precipitação mensal	480	01/10/1900	01/02/1962
GONDIZALVES (04G/06C)	Precipitação anual	23	01/10/1980	01/10/2015
	Precipitação diária	11016	01/03/1980	31/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	23	27/02/1981	13/02/2016
	Precipitação horária	81878	20/05/2003	01/08/2017
	Precipitação mensal	358	01/03/1980	01/07/2017
GONTIM (04I/05UG)	Precipitação anual	28	01/10/1980	01/10/2008
	Precipitação diária	11579	01/06/1980	17/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	28	26/09/1981	08/02/2009
	Precipitação horária	81462	31/03/2003	17/07/2017
	Precipitação mensal	375	01/06/1980	01/06/2017
LAMOSO (06G/02UG)	Precipitação anual	23	01/10/1979	01/10/2015
	Precipitação diária	9698	01/10/1979	19/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	23	26/03/1980	04/01/2016
	Precipitação horária	32046	28/05/2006	27/07/2017
	Precipitação mensal	306	01/10/1979	01/05/2017
LEÇA DA PALMEIRA (06E/02UG)	Precipitação anual	18	01/10/1979	01/10/2015
	Precipitação diária	10214	01/10/1979	28/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	18	14/10/1979	10/01/2016
	Precipitação horária	86670	01/05/2003	28/07/2017
	Precipitação mensal	326	01/10/1979	01/06/2017
LORDELO (05G/06UG)	Precipitação anual	25	01/10/1980	01/10/2015
	Precipitação diária	11545	01/05/1980	27/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	25	27/02/1981	13/02/2016
	Precipitação horária	80389	29/05/2003	27/07/2017
	Precipitação mensal	365	01/05/1980	01/06/2017
LOUREIRO (05I/03UG)	Precipitação anual	21	01/10/1980	01/10/2015
	Precipitação diária	10440	01/06/1980	06/06/2017
	Precipitação diária máxima anual	21	26/09/1981	04/01/2016
	Precipitação horária	71202	28/05/2003	06/06/2017
	Precipitação mensal	334	01/06/1980	01/05/2017
MONDIM DE BASTO (05J/01U)	Precipitação anual	51	01/10/1933	01/10/1984
	Precipitação diária máxima anual	52	16/03/1934	19/10/1984
	Precipitação mensal	629	01/04/1933	01/09/1985
MOREIRA DO REI (05I/04G)	Precipitação anual	25	01/10/1980	01/10/2008
	Precipitação diária	10528	01/06/1980	17/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	25	26/09/1981	29/01/2009
	Precipitação horária	77536	28/05/2003	17/07/2017
	Precipitação mensal	340	01/06/1980	01/06/2017
PARADA (05F/02UG)	Precipitação anual	25	01/10/1979	01/10/2006
	Precipitação diária	10965	01/10/1979	28/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	27	08/12/1979	14/06/2007
	Precipitação horária	64060	27/03/2003	28/07/2017
	Precipitação mensal	354	01/10/1979	01/06/2017
PEDRA BELA (03I/06UG)	Precipitação anual	56	01/10/1946	01/10/2003
	Precipitação diária	23036	01/10/1946	03/08/2017
	Precipitação diária máxima anual	56	31/10/1946	12/03/2004
	Precipitação horária	66424	02/04/2003	03/08/2017
	Precipitação mensal	745	01/10/1946	01/07/2017
PENEDO (04I/06UG)	Precipitação anual	56	01/10/1950	01/10/2006
	Precipitação diária	19163	22/12/1949	16/06/2008
	Precipitação diária máxima anual	57	26/11/1950	12/02/2007
	Precipitação horária	42624	16/05/2003	16/06/2008
	Precipitação mensal	690	01/01/1950	01/05/2008
PINCÃES (03I/08UG)	Precipitação anual	54	01/10/1950	01/10/2005
	Precipitação diária	7061	01/10/1983	19/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	53	21/11/1950	24/03/2006
	Precipitação horária	76210	15/05/2003	19/07/2017
	Precipitação mensal	721	01/01/1950	01/06/2017
PÓVOA DE VARZIM (05E/03UG)	Precipitação anual	23	01/10/1979	01/10/2007
	Precipitação diária	6285	01/10/1979	28/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	20	14/10/1979	20/11/2007
	Precipitação horária	82444	27/03/2003	28/07/2017
	Precipitação mensal	363	01/10/1979	01/06/2017
PÓVOA DO LANHOSO (04H/01UG)	Precipitação anual	22	01/10/1980	01/10/2003
	Precipitação diária	3000	01/10/1989	06/01/2005
	Precipitação diária máxima anual	16	27/02/1981	12/03/2004
	Precipitação horária	15816	07/03/2003	06/01/2005

	Precipitação mensal	284	01/05/1980	01/12/2004
SALAMONDE (03I/09UG)	Precipitação anual	57	01/10/1950	01/10/2015
	Precipitação diária	7213	01/10/1989	03/08/2017
	Precipitação diária máxima anual	56	26/11/1950	13/02/2016
	Precipitação horária	83305	04/04/2003	03/08/2017
	Precipitação mensal	742	01/01/1950	01/07/2017
SALTO (04J/02C)	Precipitação anual	54	01/10/1949	01/10/2007
	Precipitação diária	4411	01/10/1989	14/08/2017
	Precipitação diária máxima anual	48	01/02/1950	16/01/2008
	Precipitação horária	49876	06/06/2006	14/08/2017
	Precipitação mensal	702	01/02/1949	01/07/2017
SAMEIRO (04G/02UG)	Precipitação anual	71	01/10/1932	01/10/2005
	Precipitação diária	3351	01/10/1989	06/06/2017
	Precipitação diária máxima anual	69	05/12/1932	02/12/2005
	Precipitação horária	74829	02/05/2003	06/06/2017
	Precipitação mensal	931	01/10/1932	01/05/2017
SANTO TIRSO (05G/02C)	Precipitação anual	3	01/10/1978	01/10/1980
	Precipitação diária	1385	01/08/1978	31/05/1982
	Precipitação diária máxima anual	3	24/12/1978	26/09/1981
	Precipitação mensal	44	01/08/1978	01/05/1982
SÃO BENTO DA PORTA ABERTA (03H/03UG)	Precipitação anual	51	01/10/1950	01/10/2000
	Precipitação diária	9494	01/10/1955	03/08/2017
	Precipitação diária máxima anual	59	11/11/1941	21/03/2001
	Precipitação horária	49333	23/11/2005	03/08/2017
	Precipitação mensal	680	01/01/1950	01/07/2017
TAIPAS (05G/04UG)	Precipitação anual	22	01/10/1980	01/10/2005
	Precipitação diária	3253	01/10/1989	06/06/2017
	Precipitação diária máxima anual	16	27/02/1981	02/12/2005
	Precipitação horária	72331	03/05/2003	06/06/2017
	Precipitação mensal	356	01/05/1980	01/05/2017
TURIZ (04G/03UG)	Precipitação anual	22	01/10/1980	01/10/2001
	Precipitação diária	10690	01/06/1980	08/06/2017
	Precipitação diária máxima anual	23	26/09/1981	22/10/2001
	Precipitação horária	60490	01/06/2003	08/06/2017
	Precipitação mensal	337	01/06/1980	01/05/2017
UCHA (04F/03UG)	Precipitação anual	23	01/10/1980	01/10/2015
	Precipitação diária	11273	01/06/1980	08/06/2017
	Precipitação diária máxima anual	24	27/02/1981	04/01/2016
	Precipitação horária	75229	11/03/2003	08/06/2017
	Precipitação mensal	353	01/06/1980	01/05/2017
VENDA NOVA (03J/07G)	Precipitação anual	52	01/10/1940	01/10/2006
	Precipitação diária	7782	01/01/1978	19/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	52	17/11/1940	20/10/2006
	Precipitação horária	52659	23/05/2006	19/07/2017
	Precipitação mensal	684	01/10/1940	01/06/2017
VIATODOS (05F/01UG)	Precipitação anual	73	01/10/1932	01/10/2006
	Precipitação diária	28722	01/12/1931	14/09/2016
	Precipitação diária máxima anual	74	11/12/1932	12/02/2007
	Precipitação horária	65783	01/05/2003	14/09/2016
	Precipitação mensal	930	01/12/1931	01/05/2016
VILA CHÃ (MINDELO) (06E/03UG)	Precipitação anual	27	01/10/1979	01/10/2015
	Precipitação diária	11731	01/10/1979	28/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	28	13/10/1979	29/10/2015
	Precipitação horária	84401	01/05/2003	28/07/2017
	Precipitação mensal	379	01/10/1979	01/06/2017
VILAR DO CHÃO (04I/04UG)	Precipitação anual	25	01/10/1980	01/10/2007
	Precipitação diária	6658	01/10/1989	18/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	23	18/12/1980	16/01/2008
	Precipitação horária	77397	03/03/2003	18/07/2017
	Precipitação mensal	354	01/06/1980	01/06/2017
VILAÇA (04G/05UG)	Precipitação anual	23	01/10/1980	01/10/2005
	Precipitação diária	10726	01/05/1980	03/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	23	27/02/1981	02/12/2005
	Precipitação horária	71460	26/05/2003	03/07/2017
	Precipitação mensal	342	01/05/1980	01/06/2017
XERTELO (03I/04G)	Precipitação anual	56	01/10/1950	01/10/2008
	Precipitação diária	7278	01/10/1983	18/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	54	20/02/1951	23/07/2009
	Precipitação horária	80585	01/04/2003	18/07/2017
	Precipitação mensal	734	01/01/1950	01/06/2017
ZEBRAL (04I/03UG)	Precipitação anual	52	01/10/1950	01/10/2001
	Precipitação diária	21027	23/12/1949	18/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	53	06/05/1951	23/01/2002
	Precipitação horária	38927	14/02/2007	18/07/2017
	Precipitação mensal	680	01/01/1950	01/06/2017
ÁGUA LONGA (AGRELA) (06G/03G)	Precipitação anual	3	01/10/2006	01/10/2008
	Precipitação diária	2334	18/03/2006	28/07/2017
	Precipitação diária máxima anual	3	12/02/2007	03/12/2008
	Precipitação horária	56082	16/03/2006	28/07/2017

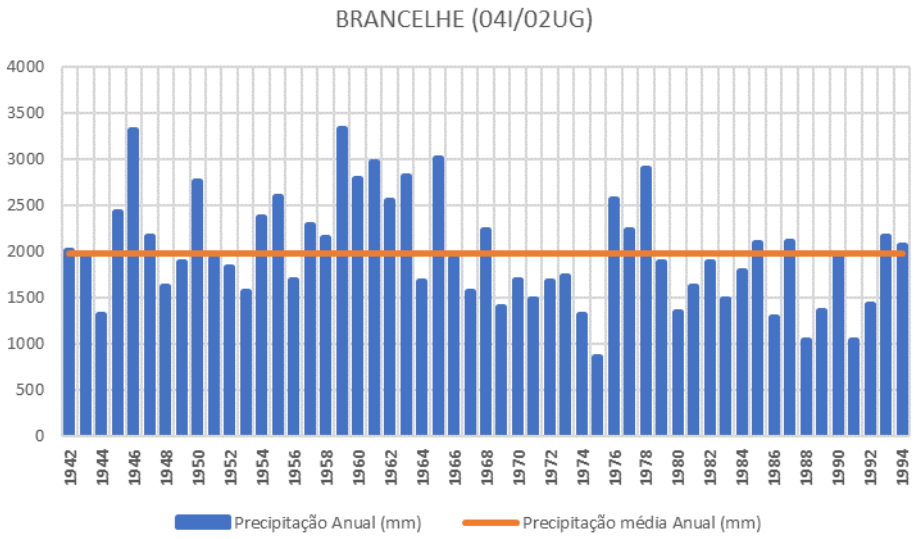
	Precipitação mensal	73	01/04/2006	01/06/2017

ii. Distribuição espacial e temporal da precipitação

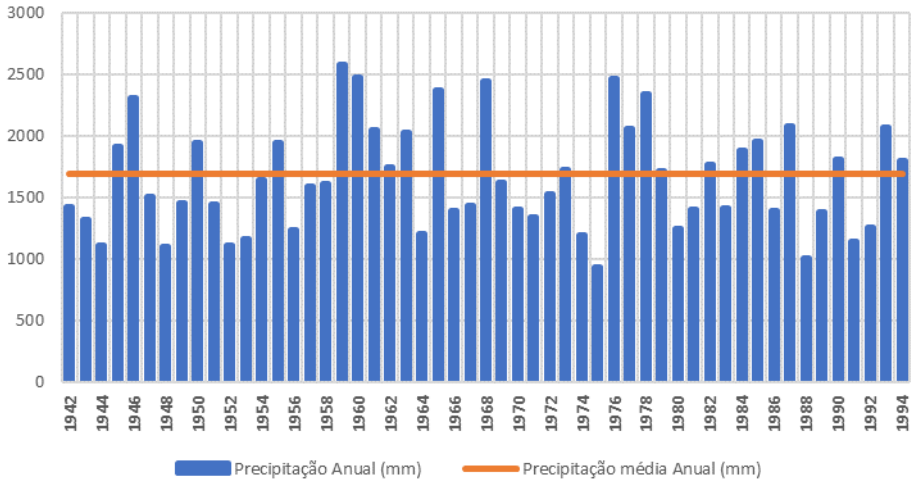
a. Análise da precipitação anual

Na análise da precipitação anual utilizaram-se os dados das estações em estudo anteriormente listadas. Para a análise da variabilidade anual da precipitação, utilizaram-se algumas das estações representativas da área ade estudo, com mais extenso historial de registos e dentro destes, o período comum ininterrupto entre todas as estações consideradas (1942 a 1994), sendo elas Brancelhe, Cabeceiras de Basto, Caldelas, Celorico de Basto, Sameiro e Viatodos.

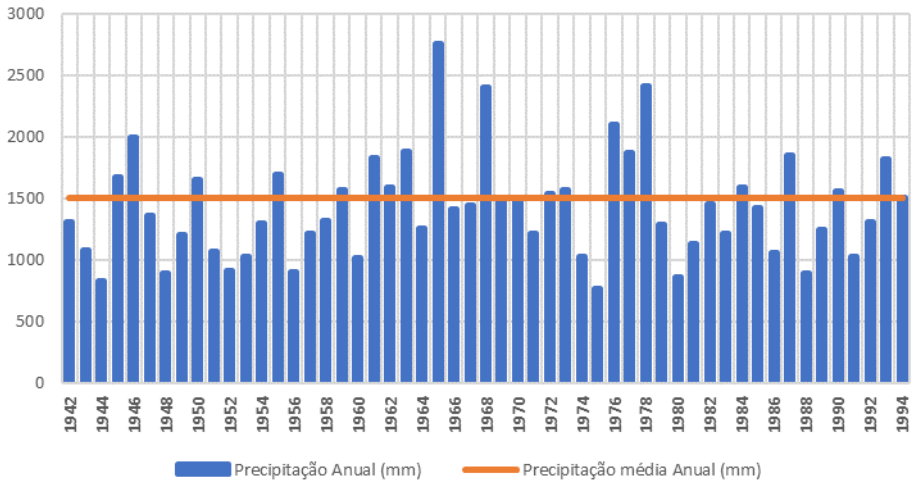
A partir da análise da precipitação anual para as diversas estações, pode-se verificar a existência de padrões mais ou menos bem definidos de ciclos hidrológicos compostos por anos mais secos, seguidos de anos de muita precipitação. Estes ciclos acontecem tendencialmente de 4 em 4 anos.



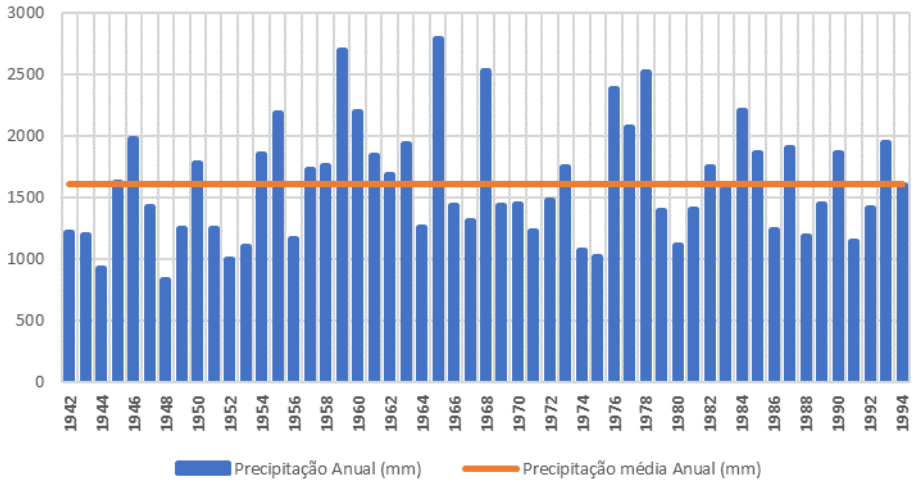
CALDELAS (03G/04UG)

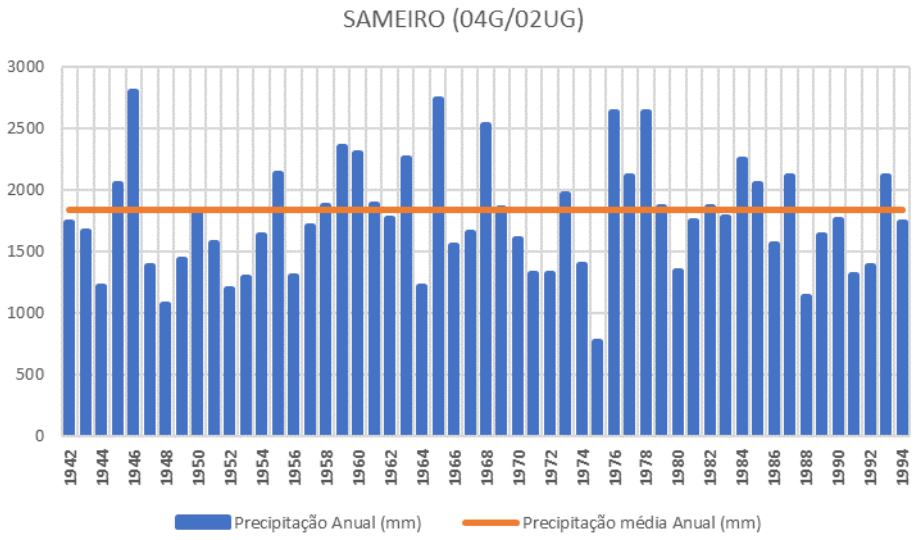


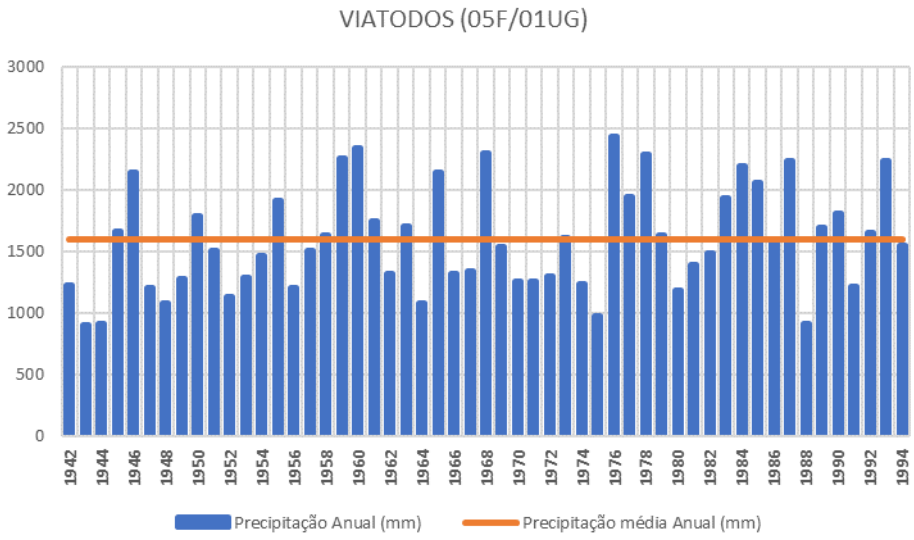
CABECEIRAS DE BASTO (04J/06UG)



CELORICO DE BASTO (05I/01UG)







b. Determinação dos parâmetros estatísticos anuais

Os valores estatísticos foram determinados a partir das séries de 52 anos (1942 a 1994) de dados de precipitação das 6 estações meteorológicas identificadas no ponto anterior, representativas da área em estudo.

A precipitação anual média resultou da média aritmética dos totais anuais para a série de dados registados nas estações em estudo, para o período de dados em estudo.

Da análise da estatística (**Quadro 11**) é possível verificar o comportamento das diferentes estações meteorológicas em estudo, e ficar com noção da sua distribuição na área da bacia e envolvência.

Quadro 11: *Parâmetros estatísticos da precipitação anual (1942 a 1994) nas estações meteorológicas em estudo*

Estação	Média (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Mediana (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coeficiente Variação (%)
BRANCELHE (04I/02UG)	1982,6	3753,0	723,8	1895,8	654,7	33,0%
CABECEIRAS DE BASTO (04J/06UG)	1509,4	2761,7	770,7	1441,5	456,2	30,2%
CALDELAS (03G/04UG)	1691,8	3234,8	935,9	1621,3	472,2	27,9%
CELORICO DE BASTO (05I/01UG)	1613,6	2791,6	838,0	1512,2	473,1	29,3%
SAMEIRO (04G/02UG)	1841,5	3910,9	771,0	1746,8	559,1	30,4%
VIATODOS (05F/01UG)	1595,5	2856,4	805,4	1524,4	458,1	28,7%

O máximo de precipitação anual registou-se na estação de Brancelhe com 1982,6 mm e o valor mínimo em Cabeceiras de Basto com 1509,4 mm.

O valor da mediana mostra que, de uma maneira gera, situa-se abaixo da média, sendo um indicador de que existe a tendência para ocorrer maior número de anos com precipitação abaixo da média (Reis, 2006). Verifica-se que as estações que apresentam valores mais altos de precipitação são também as estações onde o desvio padrão é mais elevado e vice-versa, embora não exista uma proporcionalidade direta entre os dois parâmetros.

O coeficiente de variação permite comparar as estações em estudo, podendo observar-se que, de um modo geral, todas as estações se afastam entre 27,9 e 33,0% da média.

c. Distribuição espacial da precipitação na área de estudo

Uma correta análise da distribuição espacial das precipitações é de grande importância para o estudo das cheias. O relevo influencia o comportamento climático e hidrológico de uma bacia hidrográfica em relação às cheias, sendo a disposição do relevo, a exposição aos fluxos pluviogénicos, os valores altitudinais e os seus declives as componentes mais importantes (Ramos, 2009).

O efeito orográfico nas precipitações é mais acentuado numa região onde predominam um maior número de montanhas, comparativamente a uma região com uma serra isolada (Ramos, 2009).

A precipitação média anual na área de estudo é muito elevada, sendo uma das regiões do país com precipitação mais elevada (APA, 2018).

Para a modelação da distribuição da precipitação média anual foram utilizados os dados das estações (SNIRH) localizadas no interior da área de estudo e zona envolvente, num raio de 10km, com a exceção das estações de Santo Tirso e Água Longa (Agrela), por reuniram um histórico de dados manifestamente insignificante, de apenas 3 anos.

Existem diferentes metodologias que podem ser utilizadas na elaboração de um mapa de precipitação. Optou-se pela utilização de um mapa de precipitação simples, calculado através interpolação do tipo IDW, com dados do SNIRH (1900 a 2015) (**Quadro 12**):

Quadro 12: *Precipitação anual média nas estações climatológicas e udométricas da área de estudo*

Estação	Precipitação Média Anual (mm)
ALGERIZ (04G/04UG)	1381
ARADA (05H/03UG)	1430
BARCELOS (04F/01C)	1577
BARRAGEM DE GUILHOFREI (04I/01CG)	2483
BRANCELHE (04I/02UG)	1983
CABECEIRAS DE BASTO (04J/06UG)	1509
CALDELAS (03G/04UG)	1692
CARVALHO (05I/02G)	1913
CASTELÕES (05G/03UG)	1184
CELORICO DE BASTO (05I/01UG)	1614
COVIDE (EX, JUNCEDA) (03H/02UG)	2875
ERMESINDE (06F/03UG)	1094
ERMIDA (03I/07G)	2346
ESCUDEIROS (05G/05UG)	1689
FAFE (05H/01UC)	1673
FARIA (05F/03UG)	1289
FONTELA (04H/02UG)	1670
GEREZ (03I/05U)	2625
GONDIZALVES (04G/06C)	1565
GONTIM (04I/05UG)	2092
LAMOSO (06G/02UG)	1769
LEÇA DA PALMEIRA (06E/02UG)	1030
LORDELO (05G/06UG)	1199
LOUREIRO (05I/03UG)	1542
MONDIM DE BASTO (05J/01U)	1425
MOREIRA DO REI (05I/04G)	1603
PARADA (05F/02UG)	1395
PEDRA BELA (03I/06UG)	2403
PENEDO (04I/06UG)	2362
PINCÃES (03I/08UG)	2139
PÓVOA DE VARZIM (05E/03UG)	1179
PÓVOA DO LANHOSO (04H/01UG)	1779
SALAMONDE (03I/09UG)	2115
SALTO (04J/02C)	1935
SAMEIRO (04G/02UG)	1842
SÃO BENTO DA PORTA ABERTA (03H/03UG)	2896
TAIPAS (05G/04UG)	1592
TURIZ (04G/03UG)	1598
UCHA (04F/03UG)	1407
VENDA NOVA (03J/07G)	2125
VIATODOS (05F/01UG)	1596
VILA CHÃ (MINDELO) (06E/03UG)	944
VILAR DO CHÃO (04I/04UG)	1839
VILAÇA (04G/05UG)	1510
XERTELO (03I/04G)	2237
ZEBRAL (04I/03UG)	2816

(fonte: calculado tendo por base os dados do SNIRH).

Interpolação espacial é o processo de utilização de pontos com valores conhecidos para estimar os valores em outros pontos desconhecidos. Por exemplo, para elaborar um mapa de precipitação, não se vai encontrar suficientes estações meteorológicas distribuídas uniformemente para cobrir a região inteira. A Interpolação espacial pode estimar a precipitação em locais sem dados registados usando precipitações conhecidas registadas em estações meteorológicas próximas. Este tipo de superfície interpolada é frequentemente chamada de superfície estatística. Dados de elevação, temperaturas, acumulação de neve, zona de saturação da água subterrânea e densidade populacional são outros tipos

de dados que podem ser calculados utilizando a interpolação.

Dado o alto custo e recursos limitados, a coleta de dados é geralmente realizada apenas num número limitado de pontos selecionados. Em SIG, a interpolação espacial destes pontos pode ser aplicada para criar uma superfície raster com estimativas feitas para todas as células deste raster.

Existem muitos métodos de interpolação. Dois dos mais usados são o "Inverso da Distância à Potência" (IDW) e "Redes de Triangulação Irregular" (TIN), existindo outros como Splines Regulares com Tensão (RST), ou interpolação por Krigagem ou Superfície de Tendência.

Para a elaboração de mapas de precipitação o método mais utilizado é o do "Inverso da Distância à Potência" (IDW).

No método IDW de interpolação, as amostras (pontos) são pesadas durante a interpolação, de acordo com a influência de um ponto relativamente a outro, a distância a partir de um ponto desconhecido que se quer criar.

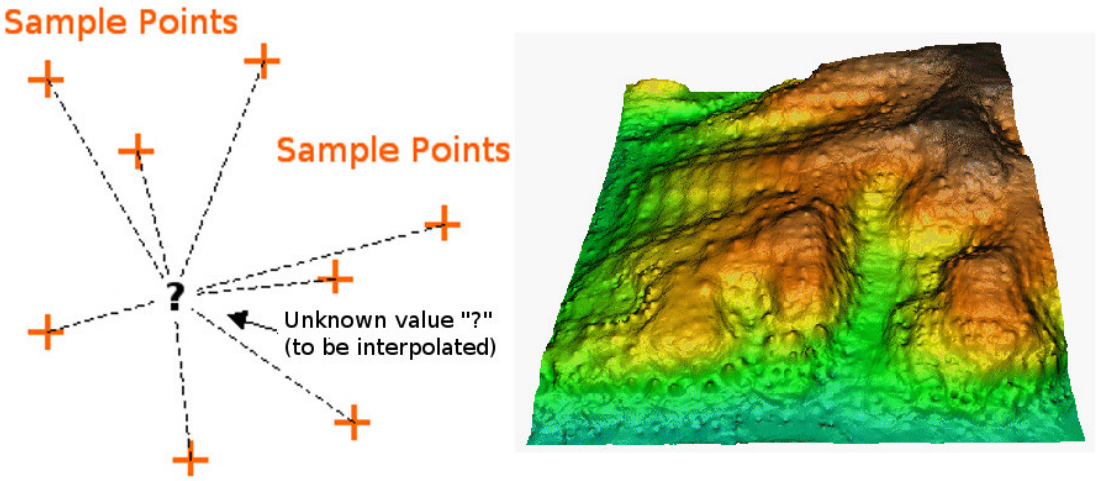


Figura 10: *A interpolação Ponderação pelo Inverso da Distância IDW é baseada na distância ponderada de um ponto de amostragem (à esquerda). Superfície IDW interpolada a partir de pontos vetoriais de elevação (à direita). Fonte da Image: Mitas, L., Mitasova, H. (1999).*

A Ponderação é atribuída a pontos amostrais através da utilização de um coeficiente de ponderação que controla como a influência da ponderação irá diminuir à medida que a distância a partir do ponto desconhecido aumenta.

Em SIG, a interpolação resulta numa camada raster bidimensional.

Para a interpolação da precipitação foram consideradas 46 estações, localizadas no interior da área de estudo e na envolvente até uma distância máxima de 10km (**Quadro 10 e Figura 9**).

Foram gerados pontos a partir das coordenadas das estações disponíveis no SNIRH, aos quais se atribuiu o valor da precipitação média anual (**Quadro 12**). Executou-se a interpolação pelo método do IDW considerando tamanho de pixel de 5m, com um raio de pesquisa de amostragem de 12 pontos de entrada para interpolação, sem limite de distância (**Figura 11**).

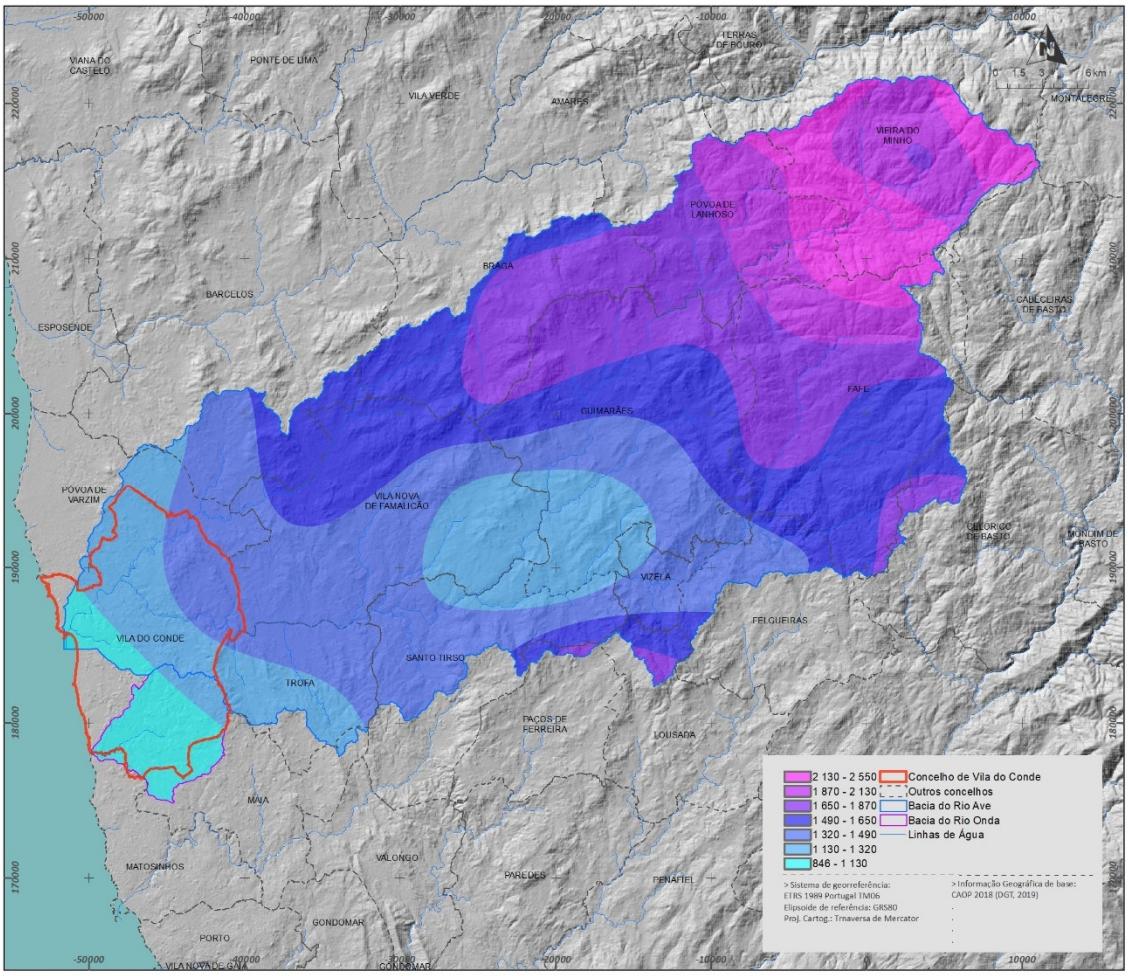


Figura 11: *Mapa de Precipitação Média Anual (mm) (Fonte: Adaptado do SNIRH).*

A utilização do método do inverso da distância (IDW) para comparar variáveis mostrou-se bastante eficaz, no sentido de facilitar visualização e o comportamento dos dados analisados.

As estações localizadas na zona mais a montante, em maior de altitude, apresentam os valores mais elevados de precipitação anual média, em contraste com as estações localizadas mais próximas do mar (jusante) a baixa altitude, qua apresentam os valores mais baixos. Este contraste pode ser explicado pela correlação forte entre as variáveis precipitação, altitude e proximidade do mar.

d. Análise da precipitação mensal

Para a análise da precipitação mensal, o período de estudo mantém-se (1942 a 1994).

Com base nos dados mensais determinou-se a precipitação mensal média (**Figura 12**) para cada estação assim como a sua distribuição estatística (**Quadros 13 a 18**).

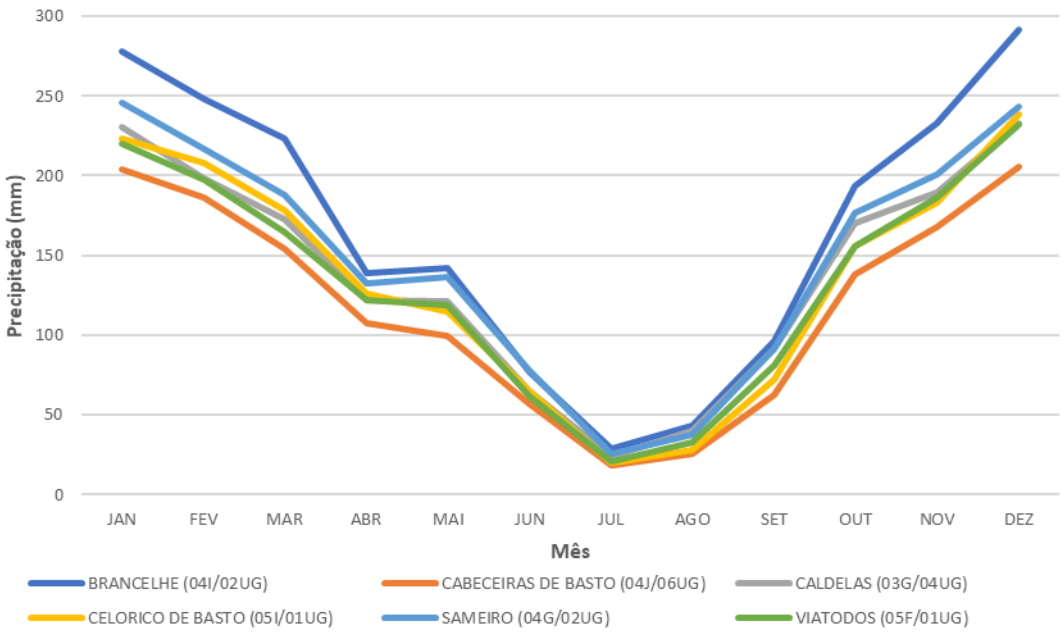


Figura 12: *Precipitação mensal média (1942 a 1994) para as estações em estudo.*

Pelo facto das estações se encontrarem relativamente próximas umas das outras, a variabilidade espacial e temporal é pouco acentuada; todas as estações seguem a mesma tendência ao longo do ano.

Para todas as estações, os meses onde se concentram quantitativos maiores de precipitação são de dezembro a Janeiro, funcionando Maio como um máximo relativo (**Figura 12**); verifica-se uma variação sazonal clara entre os meses mais chuvosos, de Novembro a Fevereiro, e os meses menos chuvosos, de Junho a Setembro.

e. Determinação dos parâmetros estatísticos mensais

Os valores estatísticos foram determinados a partir das séries de 52 anos (1942 a 1994) de dados de precipitação das 6 estações meteorológicas identificadas, representativas da área em estudo. Os **Quadros 13 a 18** mostram a distribuição estatística aplicada aos dados de precipitação mensal.

Quadro 13: *Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Brancelhe (04I/02UG).*

BRANCELHE (04I/02UG)												
Estatísticas	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**
Média (mm)	278	248	223	139	142	77	29	43	96	193	233	291
Máximo (mm)	917	849	784	442	346	304	198	156	292	611	873	1068
Mínimo (mm)	5	3	0	2	5	2	0	0	0	8	0	16
Mediana (mm)	268	189	172	99	125	62	11	31	85	160	202	257

Desvio Padrão (mm)	201	214	183	101	93	63	43	40	72	144	172	218
Coef. Variação (%)	72%	86%	82%	73%	65%	82%	148%	92%	76%	74%	74%	75%

Quadro 14: *Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Cabeceiras de Basto (04J/06UG)*

CABECEIRAS DE BASTO (04J/06UG)												
Estatísticas	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**
Média (mm)	204	187	154	107	99	57	19	25	62	138	168	206
Máximo (mm)	678	711	529	397	306	310	133	101	255	478	515	854
Mínimo (mm)	0	18	3	6	4	0	0	0	0	0	0	28
Mediana (mm)	176	136	127	77	79	40	9	16	53	112	163	147
Desvio Padrão (mm)	158	171	130	87	75	53	27	24	56	104	106	162
Coef. Variação (%)	78%	92%	84%	81%	76%	94%	148%	96%	90%	75%	63%	79%

Quadro 15: *Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Caldelas (03G/04UG)*

CALDELAS (03G/04UG)												
Estatísticas	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**
Média (mm)	231	198	172	122	121	65	24	40	91	170	190	233
Máximo (mm)	642	575	533	337	346	315	113	154	266	517	546	802
Mínimo (mm)	4	4	2	24	1	2	0	0	1	6	0	26
Mediana (mm)	227	161	162	104	92	53	18	30	76	144	169	219
Desvio Padrão (mm)	152	156	126	75	78	57	26	35	65	122	125	158
Coef. Variação (%)	66%	78%	73%	62%	65%	88%	110%	88%	71%	71%	66%	68%

Quadro 16: *Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Celorico de Basto (05I/01UG)*

CELORICO DE BASTO (05I/01UG)												
Estatísticas	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**
Média (mm)	224	208	178	126	115	65	20	28	72	156	183	239
Máximo (mm)	620	726	505	460	292	304	121	124	302	558	559	909
Mínimo (mm)	2	6	0	11	8	1	0	0	0	11	0	16
Mediana (mm)	218	136	152	106	108	45	8	19	59	120	163	176
Desvio Padrão (mm)	162	183	141	94	72	60	27	28	62	125	129	188
Coef. Variação (%)	72%	88%	79%	75%	63%	92%	137%	101%	86%	80%	71%	79%

Quadro 17: *Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Sameiro (04G/02UG)*

SAMEIRO (04G/02UG)												
Estatísticas	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**
Média (mm)	245	217	188	133	136	78	26	37	91	176	200	243
Máximo (mm)	781	699	658	365	406	444	124	129	243	490	568	1101
Mínimo (mm)	8	7	2	16	3	0	0	0	0	12	0	2
Mediana (mm)	228	182	154	104	117	61	17	31	85	139	188	223
Desvio Padrão (mm)	166	179	142	90	92	72	27	32	68	129	128	191
Coef. Variação (%)	67%	82%	75%	68%	68%	92%	105%	87%	75%	73%	64%	78%

Quadro 18: *Distribuição estatística da precipitação mensal da estação de Viatodos (05F/01UG)*

VIATODOS (05F/01UG)												
Estatísticas	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**
Média (mm)	220	197	165	122	118	62	20	33	81	156	186	232
Máximo (mm)	587	569	458	328	419	325	102	125	282	492	548	833
Mínimo (mm)	8	26	0	22	8	5	0	0	0	14	0	37
Mediana (mm)	206	152	167	101	86	52	12	23	70	131	182	200
Desvio Padrão (mm)	142	151	116	81	86	57	24	30	65	117	125	161
Coef. Variação (%)	64%	77%	71%	66 %	73%	93%	118 %	91%	80%	75%	67%	69%

A partir da análise dos quadros anteriores, observa-se que a distribuição da precipitação tem um comportamento praticamente uniforme em todas as estações.

Em relação à mediana, é quase sempre inferior à média ao longo de todos os meses e para todas as estações, com exceção do mês de março em Viatodos, com uma diferença de 3 mm.

A diferença entre estas duas medidas de distribuição é, em termos gerais, menor nos meses de Verão, verificando-se também esta situação no mês de janeiro em Brancelhe, Caldelas e Celorico de basto e no mês de novembro em Cabeceiras de basto e Viatodos.

Pode-se verificar grandes variações nos valores de desvio-padrão, mostrando que há grande variação nos valores de precipitação para cada mês ao longo da série. Isto acontece essencialmente de outubro a fevereiro, meses em que se verificam maiores valores de precipitação. Nos meses de Verão a variação nos valores de precipitação é menor, pelo facto de chover pouco nestes meses.

Os valores do coeficiente de variação apresentam grandes diferenças ao longo dos meses do ano; todavia, é nos meses de Verão, com menor precipitação, que os valores são mais elevados; nestes meses alterna-se entre a ausência de precipitação, em alguns anos, e a presença de valores significativos de precipitação, que resultam de chuvadas pontuais.

f. Análise da precipitação diária

A análise do comportamento mensal da precipitação fornece elementos importantes para perceber quais os meses do ano em que a concentração da precipitação é maior, criando, assim, condições mais propícias à ocorrência de cheias e inundações (à partida, os meses mais húmidos). Todavia, tendo em conta as características específicas das bacias hidrográficas do rio Ave e do rio Onda, as precipitações para unidades temporais mais pequenas – diárias, e até horárias –, revestem-se ainda de maior relevância.

A extensão das séries de dados de precipitação diária varia de estação para estação. Uma vez que a área de estudo é extensa, com uma grande diversidade morfológica, admitiu-se que a utilização das estações de Brancelhe e de Viatodos, com as séries de dados mais extensas, seriam representativas das bacias hidrográficas do rio de Ave e do rio Onda.

Fragoso (2003) refere que o conhecimento sobre a intensidade das precipitações em Portugal começou por se consolidar, como é natural, em relação à duração de 24 horas, uma vez que esta é a unidade de tempo em que são registados os dados das estações udométricas. Os dados diários são registados às 9h da manhã, registo correspondente às últimas 24 horas (9h do dia anterior até às 9h do próprio dia).

Os dados diários de precipitação utilizados foram obtidos durante um registo de 66 anos (1932 – 1998). Com base em valores de precipitação diária consideram-se 5 limiares de precipitação (5, 10, 20, 50 e 100 mm). A análise baseou-se na determinação do nº de dias com precipitação acima de cada limiar em cada mês ao longo dos 66 anos de registos considerados.

Para melhor análise dos resultados, elaboraram-se gráficos e tabelas correspondentes à frequência e ocorrência dos valores extremos máximos de precipitação mensal, avaliação da probabilidade de ocorrência e a avaliação do tempo

de retorno dos valores de precipitação diária em cada mês.

A abordagem com valores diários é fundamental, particularmente tendo em conta dois fatores: por um lado, pela pequena dimensão da bacia hidrográfica do rio Onda, o que contribui fortemente para um Tempo de Concentração relativamente curto, por outro, pela dificuldade de conseguir registos horários em quantidade e qualidade suficiente, que seriam ainda mais úteis para este tipo de análise.

Frequência da ocorrência da precipitação diária

O número de dias com precipitação acima de um determinado limiar indica-nos qual a frequência com que determinados valores são alcançados ou ultrapassados, fornecendo uma abordagem alternativa da distribuição da precipitação ao longo dos meses.

Numa fase inicial, considerou-se a frequência do número de dias com chuva tendo por base 7 limiares – precipitação superior a 0,1, 1, 5, 10, 20, 50 e 100 mm – ao longo dos meses do ano, dos quais se utilizaram os cinco últimos para análise.

Para melhor perceção determinou-se o valor médio do número de dias com precipitação ocorrido em cada limiar ao longo do ano (**Quadros 19 e 20).**

Quadro 19: *Distribuição da média de dias de precipitação na estação de Brancelhe.*

BRANCELHE (1932 – 1998)

Limiares de precipitação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
>0,1mm	14,36	12,33	12,33	11,02	11,38	6,95	3,64	3,89	7,79	11,44	13,08	13,94
>1mm	13,77	11,89	11,47	10,26	10,41	6,26	3,09	3,35	6,85	10,44	12,39	13,29
>5mm	11,65	9,56	9,06	7,64	7,58	4,06	1,71	2,00	4,76	7,98	9,74	10,88
>10mm	9,12	7,59	7,06	5,18	5,20	2,65	0,92	1,26	3,09	6,14	7,38	8,74
>20mm	5,76	4,59	4,38	2,62	2,44	1,15	0,47	0,48	1,55	3,42	4,29	5,56
>50mm	1,27	1,09	0,82	0,26	0,20	0,15	0,08	0,08	0,18	0,50	1,21	1,27
>100mm	0,14	0,09	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,05	0,05	0,09	0,12

Quadro 20: *Distribuição da média de dias de precipitação na estação de Viatodos.*

VIATODOS (1932 – 1998)

Limiares de precipitação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
>0,1mm	14,79	12,61	12,48	10,76	10,91	6,27	3,45	3,91	7,02	11,05	13,09	14,95
>1mm	13,97	11,76	11,52	9,89	9,70	5,58	2,91	3,48	6,33	9,98	12,26	13,65
>5mm	11,45	9,38	8,77	6,85	6,83	3,47	1,44	1,95	4,27	7,61	9,24	10,71
>10mm	8,06	6,80	5,86	4,45	4,26	1,95	0,73	0,92	2,74	5,41	6,47	8,27

>20mm	4,18	3,52	2,86	1,91	1,71	0,82	0,24	0,30	1,11	2,38	3,47	4,36
>50mm	0,65	0,39	0,30	0,17	0,17	0,06	0,00	0,03	0,20	0,35	0,56	0,67
>100mm	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06	0,02

As Figuras 13 e 14 representas apenas os limiares a partir de 5 e até 50 mm; os valores inferiores a 5 mm, pela sua grande frequência e pouca relevância no escoamento superficial, não foram considerados; por outro lado, a frequência de valores diários iguais ou superiores a 100 mm, embora de grande significado para os fenómenos extremos de escoamento direto, são referidos apenas no texto, pois a sua recorrência é extremamente baixa e impossibilitaria uma leitura adequada dos restantes valores representados na figura.

Em complemento às Figura 13 e 14 mostram-se a percentagens do número de ocorrências de precipitação diária em cada mês para cada limiar.

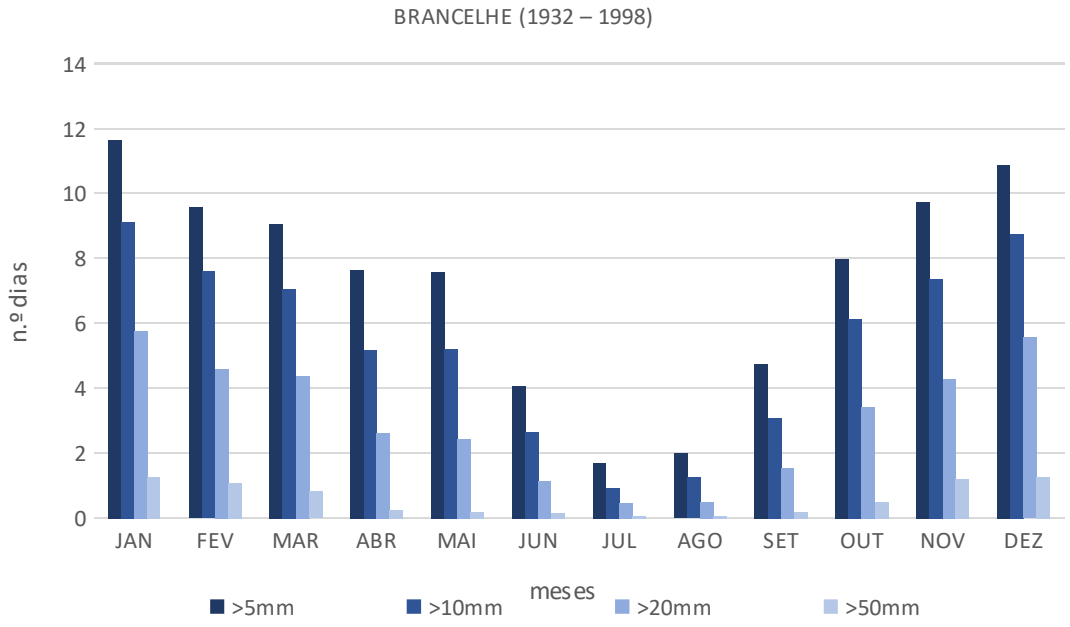


Figura 13: *Número médio de dias por mês com precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm (série 1932-1998) na estação de Brancelhe*

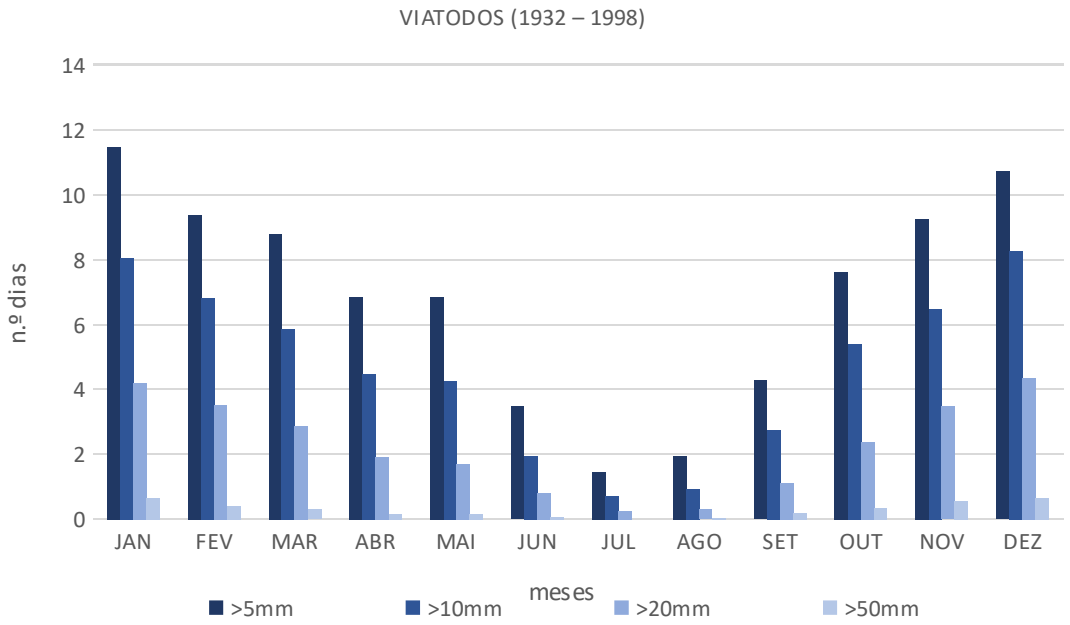


Figura 14: *Número médio de dias por mês com precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm (série 1932-1998) na estação de Viatodos*

Quadro 21: *Frequência relativa (%) mensal do número de dias com precipitação diária, em relação ao número total de dias com precipitação na estação de Brancelhe.*

BRANCELHE (1932 – 1998)

Limiares de precipitação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
>0,1mm	100,0 %	99,9 %	99,9%	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	99,9 %	99,9%	100,0 %
>1mm	95,9%	96,3 %	92,9%	93,1%	91,5%	90,0%	85,0%	86,0%	87,9%	91,1 %	94,7%	95,3%
>5mm	81,1%	77,4 %	73,4%	69,3%	66,6%	58,4%	47,1%	51,4%	61,1%	69,7 %	74,4%	78,0%
>10mm	63,5%	61,5 %	57,2%	47,0%	45,7%	38,1%	25,4%	32,3%	39,7%	53,6 %	56,4%	62,7%
>20mm	40,1%	37,2 %	35,5%	23,8%	21,4%	16,6%	12,9%	12,5%	19,8%	29,9 %	32,8%	39,9%
>50mm	8,9%	8,8%	6,6%	2,3%	1,7%	2,2%	2,1%	1,9%	2,3%	4,4%	9,3%	9,1%
>100mm	0,9%	0,7%	0,2%	0,1%	0,0%	0,2%	0,0%	0,4%	0,6%	0,4%	0,7%	0,9%

Quadro 22: *Frequência relativa (%) mensal do número de dias com precipitação diária, em relação ao número total de dias com precipitação na estação de Viatodos.*

VIATODOS (1932 – 1998)

Limiares de precipitação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
>0,1mm	100,0%	100,0%	100,0%	99,7%	99,7%	99,5%	99,6%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	99,8%
>1mm	94,5%	93,3%	92,2%	91,7%	88,6%	88,5%	83,8%	89,1%	90,3%	90,4%	93,5%	91,1%
>5mm	77,5%	74,4%	70,3%	63,5%	62,5%	55,0%	41,5%	50,0%	60,9%	68,9%	70,5%	71,5%
>10mm	54,5%	54,0%	47,0%	41,3%	38,9%	31,0%	21,0%	23,6%	39,1%	49,0%	49,4%	55,2%
>20mm	28,3%	27,9%	22,9%	17,7%	15,7%	13,0%	7,0%	7,8%	15,8%	21,5%	26,5%	29,1%
>50mm	4,4%	3,1%	2,4%	1,5%	1,5%	1,0%	0,0%	0,8%	2,8%	3,2%	4,3%	4,4%
>100mm	0,1%	0,4%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,5%	0,1%

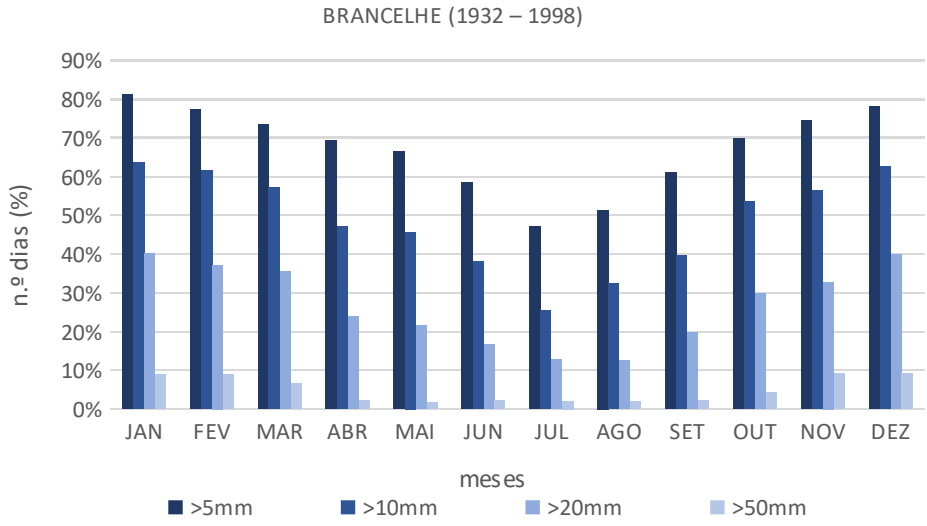


Figura 15: *Frequência relativa (%) mensal do número de dias com precipitação diária acima de 5, 10, 20 e 50 mm, em relação ao número total de dias com precipitação na estação de Brancelhe*

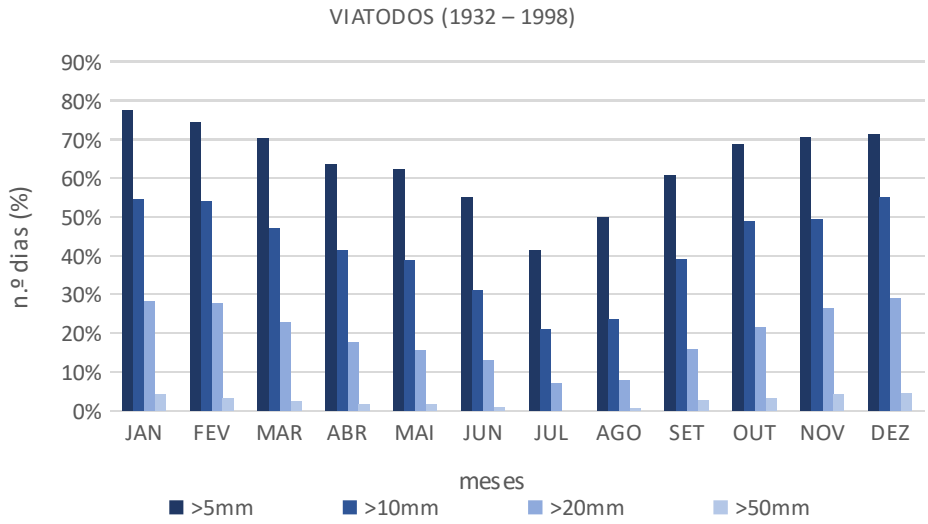


Figura 16: *Frequência relativa (%) mensal do número de dias com precipitação diária acima de 5, 10, 20 e 50 mm, em relação ao número total de dias com precipitação na estação de Viatodos.*

Nota-se que em média, valores de precipitação iguais ou superiores a 5 mm são mais significativos nos meses de outubro a maio, sendo dezembro e janeiro os meses em que existe maior número de ocorrências (cerca de 11), correspondente a 80% do número de dias com precipitação (maior ou igual a 5 mm).

Precipitações superiores a 10 mm ocorrem com maior frequência entre dezembro e janeiro, com cerca de 64% do total de dias com precipitação, respetivamente. Precipitações superiores a 20 mm tendem a ocorrer com maior frequência entre dezembro e fevereiro. Finalmente, precipitações superiores a 50 mm verificam-se com maior frequência entre novembro e janeiro, em média aproximadamente 9% em Brancelhe e 4% em Viatodos.

É no mês de janeiro que todas as classes de intensidade apresentam maior percentagem de ocorrência, seguido dos meses de dezembro e fevereiro, muito próximo de novembro e março. A percentagem de ocorrências superiores a 50 mm, nos meses de Verão é muito reduzida a nula, variando de 0% a2%.

Probabilidade de ocorrência e período de retorno das precipitações diárias

A probabilidade de ocorrência de precipitação diária acima de determinados limiares para cada mês foi determinada com base na frequência utilizada na alínea anterior, aplicando a função de probabilidade de ocorrência.

Entende-se por probabilidade de ocorrência, a probabilidade de um fenómeno igual ou superior ao analisado, se apresentar em um ano qualquer (probabilidade anual).

Para o estudo da probabilidade de ocorrência teve-se em conta a frequência de dias com precipitação em cada mês acima de cada limiar de referência e o número de dias total em cada mês ao longo da série (**Quadros 22 e 23, Figuras 17 e 18**). Pela mesma razão referida no ponto anterior, apenas incide nas frequências acima dos limiares de 5, 10, 20 e 50 mm de precipitação.

***Quadro 23**: Probabilidade de ocorrência de precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm em cada mês na estação de Brancelhe.*

BRANCELHE (1932 – 1998)

Limiares de precipitação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
>0,1mm	0,46	0,44	0,40	0,37	0,37	0,23	0,12	0,13	0,26	0,37	0,44	0,45
>1mm	0,44	0,42	0,37	0,34	0,34	0,21	0,10	0,11	0,23	0,34	0,41	0,43
>5mm	0,38	0,34	0,29	0,25	0,24	0,14	0,06	0,06	0,16	0,26	0,32	0,35
>10mm	0,29	0,27	0,23	0,17	0,17	0,09	0,03	0,04	0,10	0,20	0,25	0,28
>20mm	0,19	0,16	0,14	0,09	0,08	0,04	0,02	0,02	0,05	0,11	0,14	0,18
>50mm	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,04
>100mm	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

***Quadro 24:** Probabilidade de ocorrência de precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm em cada mês na estação de Viatodos.*

VIATODOS (1932 – 1998)

Limiares de precipitação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
>0,1mm	0,48	0,45	0,40	0,36	0,35	0,21	0,11	0,13	0,23	0,36	0,44	0,48
>1mm	0,45	0,42	0,37	0,33	0,31	0,19	0,09	0,11	0,21	0,32	0,41	0,44
>5mm	0,37	0,33	0,28	0,23	0,22	0,12	0,05	0,06	0,14	0,25	0,31	0,35
>10mm	0,26	0,24	0,19	0,15	0,14	0,07	0,02	0,03	0,09	0,17	0,22	0,27
>20mm	0,13	0,12	0,09	0,06	0,06	0,03	0,01	0,01	0,04	0,08	0,12	0,14
>50mm	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	-	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02
>100mm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00	-	0,00	0,00

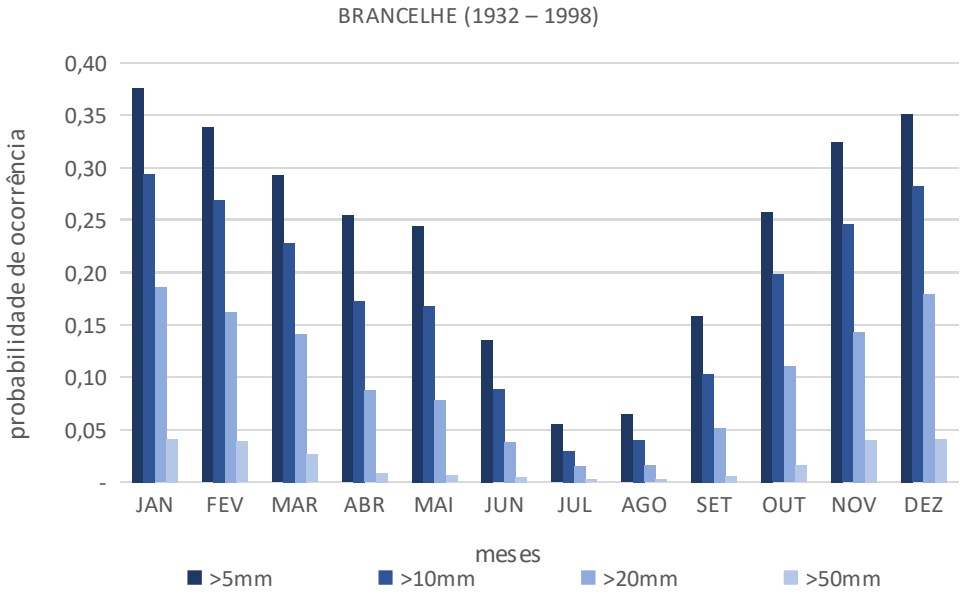


Figura 17: *Distribuição da probabilidade de ocorrência de precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm em cada mês na estação de Brancelhe.*

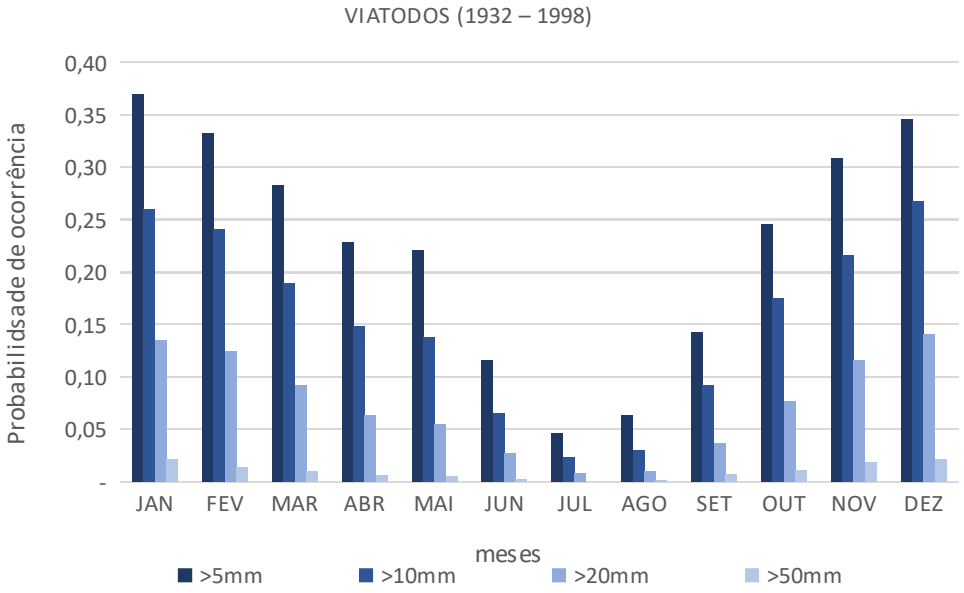


Figura 18: *Distribuição da probabilidade de ocorrência de precipitação diária igual ou superior a 5, 10, 20 e 50 mm em cada mês na estação de estação de Viatodos.*

Da análise dos dados de probabilidade verifica-se que dezembro, janeiro e fevereiro apresentam as maiores probabilidades de ocorrência de precipitação diária igual ou superior a 5 mm, respetivamente 0,35, 0,38, 0,34 em Brancelhe e 0,35, 0,37, 0,33 em Viatodos. Já os meses de junho, julho e agosto apresentam as menores probabilidades, sendo um fenómeno muito pouco frequente até aos 20 mm e praticamente ausente acima dos 50 mm.

De referir que, no mês de setembro, período correspondente ao fim do Verão, regista-se um sensível acréscimo no

número de ocorrências abaixo de 50 mm.

Para o conjunto dos dias em que ocorre precipitação (> 0,1 mm), a probabilidade de valores de precipitação maiores ou iguais aos limiares 5, 10, 20, 50 e 100 mm ser igualada ou excedida num período de 66 anos, o correspondente a 24106 dias é de 23,7% (5717 dias), 17,6% (4246 dias), 10,1% (2423 dias), 1,9% (469 dias) e 0,2% (40 dias) na estação de Brancelhe e 22,7% (5411 dias), 15,3% (3692 dias), 7,4% (1773 dias), 1,0% (234 dias) e 0,1% (14 dias) na estação de Viatodos.

A estimativa de valores extremos e da sua frequência de ocorrência é indispensável ao correto dimensionamento de obras hidráulicas e à minimização do risco associado a inundações, sendo que o carácter mais ou menos excecional de um episódio chuvoso pode, deste modo, ser avaliado estimando o período de retorno que corresponde ao quantitativo de precipitação registado (Fragoso, 2003).

Brandão (1995) classifica o período de retorno de um fenómeno hidrológico como sendo o número médio de anos que decorre até que um dado valor desse fenómeno seja igualado ou ultrapassado.

Para uma dada função de distribuição (F(X), que corresponde à probabilidade do valor da variável inferior a x), pode ser calculado o período de retorno (T) desse mesmo valor (x), através da seguinte relação:

$$T = \frac{1}{1 - \mathrm{F(X)}}$$

Da análise dos Quadros 25 e 26 verifica-se que o período de retorno expectável para precipitações diárias iguais ou superiores a 10 mm é 0,4 anos no mês de outubro, ou seja, acontecem cerca de 2,5 vezes nesse mês em cada ano.

Quadro 25: *Período de Retorno na estação de Brancelhe.*

BRANCELHE (1932 – 1998)

Limiares de precipitação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
>0,1mm	2,2	2,3	2,5	2,7	2,7	4,3	8,5	8,0	3,9	2,7	2,3	2,2
>1mm	2,3	2,4	2,7	2,9	3,0	4,8	10,0	9,3	4,4	3,0	2,4	2,3
>5mm	2,7	3,0	3,4	3,9	4,1	7,4	18,1	15,5	6,3	3,9	3,1	2,8
>10mm	3,4	3,7	4,4	5,8	6,0	11,3	33,5	24,7	9,7	5,1	4,1	3,5
>20mm	5,4	6,2	7,1	11,4	12,7	26,1	66,0	63,9	19,4	9,1	7,0	5,6
>50mm	24,4	25,9	37,9	116,5	157,4	198,0	409,2	409,2	165,0	62,0	24,8	24,4
>100mm	227,3	310,8	1 023,0	1 980,0	-	1 980,0	-	2 046,0	660,0	682,0	330,0	255,8

Quadro 26: *Período de Retorno na estação de Viatodos.*

VIATODOS (1932 – 1998)

Limiares de precipitação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
>0,1mm	2,1	2,2	2,5	2,8	2,8	4,8	9,0	7,9	4,3	2,8	2,3	2,1
>1mm	2,2	2,4	2,7	3,0	3,2	5,4	10,7	8,9	4,7	3,1	2,4	2,3
>5mm	2,7	3,0	3,5	4,4	4,5	8,6	21,5	15,9	7,0	4,1	3,2	2,9
>10mm	3,8	4,2	5,3	6,7	7,3	15,3	42,6	33,5	10,9	5,7	4,6	3,7
>20mm	7,4	8,0	10,8	15,7	18,1	36,7	127,9	102,3	27,1	13,0	8,6	7,1
>50mm	47,6	71,7	102,3	180,0	186,0	495,0	-	1 023,0	152,3	89,0	53,5	46,5
>100mm	2 046,0	621,5	2 046,0	1 980,0	2 046,0	1 980,0	-	-	1 980,0	-	495,0	2 046,0

Quantitativos de precipitação iguais ou superiores a 20 mm são mais expectáveis de ocorrer em Brancelhe é nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, com uma excecionalidade de 5,6, 5,4 e 6,2 anos, em Viatodos também é nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, mas com uma excecionalidade de 7,1, 7,4 e 8 anos.

Probabilidade empírica de não-excedência da precipitação diária máxima anual

O cálculo do período de retorno da precipitação diária foi realizado recorrendo aos dados de precipitação diária máxima anual (Pdma) para a estação de Brancelhe, que possui dados de 77 anos (1932 a 2008) e para a estação de Viatodos, que possui dados de 74 anos (1932 a 2007). O tamanho das séries permite estimar com segurança os valores de precipitações correspondentes a períodos de retorno até várias dezenas de anos.

Ao valor de ordem i, xi, de uma amostra de uma variável aleatória X é possível atribuir uma probabilidade empírica de não excedência, F(xi), que, de acordo com essa amostra, estima a probabilidade de ocorrerem valores iguais ou inferiores a xi.

A probabilidade empírica de não excedência ou frequência empírica F(xi) pode ser calculada pela seguinte equação (fórmula de Weibull):

$$F(x_i) = \frac{i}{(N+1)}$$

em que i é o número de ordem de xi na amostra, supondo-a ordenada de modo crescente e N, o número de valores dessa amostra. Em relação à expressão clássica de cálculo da frequência teórica (1/n), a equação assegura que a probabilidade de não excedência, F(xN), correspondente ao valor mais elevado da amostra ordenada, xN, é inferior à unidade, o que equivale a admitir que podem ocorrer valores superior a xN, como se julga razoável, especialmente quando em presença de amostras de variáveis hidrológicas.

Quadro 27: *Funções de distribuição da lei de Weibull aplicada às precipitações diárias máximas anuais (Pdma) tendo por base o período total de registos referente à estação Brancelhe (1932 - 2008) (77 anos).*

ORDEM (i)	Valor (crescente)	Prob. de não excedência (F)	Prob. de ser igualado ou excedido (p)	Período de retorno (anos)
1	36,5	0,013	0,987	1,01
2	37,0	0,026	0,974	1,03
3	43,2	0,038	0,962	1,04
4	54,2	0,051	0,949	1,05
5	55,2	0,064	0,936	1,07
6	55,2	0,077	0,923	1,08
7	55,5	0,090	0,910	1,10
8	55,6	0,103	0,897	1,11
9	57,8	0,115	0,885	1,13
10	58,5	0,128	0,872	1,15
11	58,8	0,141	0,859	1,16
12	58,8	0,154	0,846	1,18
13	59,0	0,167	0,833	1,20
14	59,0	0,179	0,821	1,22
15	60,0	0,192	0,808	1,24
16	65,2	0,205	0,795	1,26
17	65,2	0,218	0,782	1,28
18	67,2	0,231	0,769	1,30
19	68,4	0,244	0,756	1,32
20	69,2	0,256	0,744	1,34
21	70,0	0,269	0,731	1,37
22	70,0	0,282	0,718	1,39
23	70,5	0,295	0,705	1,42
24	72,2	0,308	0,692	1,44
25	74,8	0,321	0,679	1,47
26	74,9	0,333	0,667	1,50
27	75,2	0,346	0,654	1,53
28	78,0	0,359	0,641	1,56
29	78,2	0,372	0,628	1,59
30	78,8	0,385	0,615	1,63
31	79,0	0,397	0,603	1,66
32	80,4	0,410	0,590	1,70
33	81,0	0,423	0,577	1,73
34	82,2	0,436	0,564	1,77
35	84,6	0,449	0,551	1,81
36	85,0	0,462	0,538	1,86
37	86,4	0,474	0,526	1,90
38	90,2	0,487	0,513	1,95
39	93,0	0,500	0,500	2,00
40	93,4	0,513	0,487	2,05
41	94,0	0,526	0,474	2,11
42	94,8	0,538	0,462	2,17
43	95,0	0,551	0,449	2,23
44	95,0	0,564	0,436	2,29
45	95,6	0,577	0,423	2,36
46	96,6	0,590	0,410	2,44
47	98,0	0,603	0,397	2,52
48	98,4	0,615	0,385	2,60
49	99,8	0,628	0,372	2,69
50	100,2	0,641	0,359	2,79
51	100,8	0,654	0,346	2,89
52	101,2	0,667	0,333	3,00
53	103,2	0,679	0,321	3,12
54	104,2	0,692	0,308	3,25
55	105,6	0,705	0,295	3,39
56	106,2	0,718	0,282	3,55
57	106,2	0,731	0,269	3,71

58	107,0	0,744	0,256	3,90
59	108,8	0,756	0,244	4,11
60	110,0	0,769	0,231	4,33
61	110,8	0,782	0,218	4,59
62	118,3	0,795	0,205	4,88
63	119,0	0,808	0,192	5,20
64	120,2	0,821	0,179	5,57
65	129,0	0,833	0,167	6,00
66	131,6	0,846	0,154	6,50
67	132,3	0,859	0,141	7,09
68	143,0	0,872	0,128	7,80
69	143,0	0,885	0,115	8,67
70	145,6	0,897	0,103	9,75
71	150,0	0,910	0,090	11,14
72	150,0	0,923	0,077	13,00
73	150,8	0,936	0,064	15,60
74	156,3	0,949	0,051	19,50
75	157,2	0,962	0,038	26,00
76	158,8	0,974	0,026	39,00
77	159,8	0,987	0,013	78,00

Quadro 28: *Funções de distribuição da lei de Weibull aplicada às precipitações diárias máximas anuais (Pdma) tendo por base o período total de registos referente à estação Viatodos (1932 - 2007) (74 anos).*

ORDEM (i)	Valor (crescente)	Prob. de não excedência (F)	Prob. de ser igualado ou excedido (p)	Período de retorno (anos)
1	40,4	0,013	0,987	1,01
2	40,4	0,027	0,973	1,03
3	44,4	0,040	0,960	1,04
4	45,6	0,053	0,947	1,06
5	51,8	0,067	0,933	1,07
6	52,3	0,080	0,920	1,09
7	52,4	0,093	0,907	1,10
8	53,2	0,107	0,893	1,12
9	54,8	0,120	0,880	1,14
10	56,4	0,133	0,867	1,15
11	57,0	0,147	0,853	1,17
12	57,4	0,160	0,840	1,19
13	57,8	0,173	0,827	1,21
14	59,0	0,187	0,813	1,23
15	59,4	0,200	0,800	1,25
16	60,5	0,213	0,787	1,27
17	61,2	0,227	0,773	1,29
18	61,4	0,240	0,760	1,32
19	62,6	0,253	0,747	1,34
20	63,2	0,267	0,733	1,36
21	64,0	0,280	0,720	1,39
22	64,4	0,293	0,707	1,42
23	66,1	0,307	0,693	1,44
24	67,2	0,320	0,680	1,47
25	68,4	0,333	0,667	1,50
26	68,7	0,347	0,653	1,53
27	70,0	0,360	0,640	1,56
28	70,4	0,373	0,627	1,60
29	71,6	0,387	0,613	1,63
30	72,4	0,400	0,600	1,67
31	72,8	0,413	0,587	1,70
32	73,2	0,427	0,573	1,74
33	74,0	0,440	0,560	1,79
34	74,2	0,453	0,547	1,83
35	74,3	0,467	0,533	1,88
36	75,8	0,480	0,520	1,92
37	76,6	0,493	0,507	1,97

38	77,4	0,507	0,493	2,03
39	77,8	0,520	0,480	2,08
40	79,0	0,533	0,467	2,14
41	81,4	0,547	0,453	2,21
42	82,0	0,560	0,440	2,27
43	82,1	0,573	0,427	2,34
44	82,4	0,587	0,413	2,42
45	83,5	0,600	0,400	2,50
46	84,1	0,613	0,387	2,59
47	84,3	0,627	0,373	2,68
48	85,2	0,640	0,360	2,78
49	86,2	0,653	0,347	2,88
50	86,4	0,667	0,333	3,00
51	87,4	0,680	0,320	3,13
52	87,9	0,693	0,307	3,26
53	89,2	0,707	0,293	3,41
54	89,4	0,720	0,280	3,57
55	92,3	0,733	0,267	3,75
56	94,0	0,747	0,253	3,95
57	94,7	0,760	0,240	4,17
58	96,4	0,773	0,227	4,41
59	96,9	0,787	0,213	4,69
60	96,9	0,800	0,200	5,00
61	99,2	0,813	0,187	5,36
62	99,6	0,827	0,173	5,77
63	102,2	0,840	0,160	6,25
64	103,1	0,853	0,147	6,82
65	106,3	0,867	0,133	7,50
66	106,7	0,880	0,120	8,33
67	107,4	0,893	0,107	9,38
68	110,0	0,907	0,093	10,71
69	110,5	0,920	0,080	12,50
70	112,0	0,933	0,067	15,00
71	113,0	0,947	0,053	18,75
72	115,2	0,960	0,040	25,00
73	120,2	0,973	0,027	37,50
74	120,8	0,987	0,013	75,00

Em Brancelhe o maior valor de precipitação máxima diária anual registada na série é 159,8 mm, enquanto o menor é 36,5 mm (**Quadro 27**).

Precipitações entre 36,5 e 98,0 mm correspondem a períodos de retorno de 1 a 2,5 anos. Considera-se períodos de retorno até 2 anos como ocorrências frequentes e não excecionais.

Precipitações a variar entre 98,4 e 106,2 mm têm período de retorno de 2,6 anos a 3,5 anos. Para um período de retorno de 5 anos verificam-se valores de precipitação máxima diária de 119 mm. Os dois valores mais altos da série são 158,8 e 159,8mm e registam-se uma vez em cada 39 anos e 78 anos, respetivamente.

Num espaço de tempo de 39 anos, correspondendo ao dobro dos anos da série, a precipitação máxima diária anual aumenta 1,0 mm.

Em Viatodos o maior valor de precipitação máxima diária anual registada na série é 120,8 mm, enquanto o menor é 40,4 mm (**Quadro 28**).

Precipitações entre 40,4 e 83,5 mm correspondem a períodos de retorno de 1 a 2,5 anos. Considera-se períodos de retorno até 2 anos como ocorrências frequentes e não excecionais.

Precipitações a variar entre 84,1 e 89,4 mm têm período de retorno de 2,6 anos a 3,5 anos. Para um período de retorno de 5 anos verificam-se valores de precipitação máxima diária de 96,9 mm. Os dois valores mais altos da série

são 120,2 e 120,8mm e registam-se uma vez em cada 37,5 anos e 75 anos, respetivamente.

Num espaço de tempo de 37,5 anos, correspondendo ao dobro dos anos da série, a precipitação máxima diária anual aumenta 0,60 mm.

Síntese das características pluviométricas com relevância para a ocorrência de cheias nas bacias hidrográficas

A análise geral efetuada a nível anual teve por base 46 estações localizadas no interior e envolvente á área de estudo. Depois realizou-se uma análise mais pormenorizada a nível anual e mensal considerando-se 6 estações, aquelas que apresentavam as séries de dados mais longas e consistentes.

A análise da precipitação diária foi efetuada para as estações de Brancelhe e Viatodos, por serem umas das estações com as séries de dados mais longa, e sendo estações representativas das bacias.

O conjunto de resultados apresentados colocou em evidência diversos contrastes espaciais e temporais nas características relacionadas com a precipitação da área de estudo.

Pelo facto das estações se encontrarem relativamente próximas umas das outras, a variabilidade espacial e temporal é pouco acentuada; todas as estações seguem a mesma tendência ao longo do ano. A precipitação anual ao longo do período de amostragem apresenta grande variabilidade com mínima de 723,8, em 2004, na estação udométrica de Brancelhe e máxima de 3910,9 mm, em 1935, na estação udométrica do Sameiro.

Os dados mensais mostram a existência de duas estações bem definidas, a chuvosa (outubro a maio) e a seca (junho a setembro).

São os meses de Inverno, de dezembro a fevereiro que registam quantitativos mensais mais elevados. Nos meses de Verão, verificam-se quantitativos mais baixos ou praticamente inexistentes, mostrando desta forma a clara variação sazonal entre os meses mais chuvosos e os meses menos chuvosos.

Imediatamente a seguir à estação seca, seguem-se 5 meses bastante chuvosos (novembro a março), com precipitações diárias acima dos 20 mm.

Os meses mais chuvosos (outubro a março) são também os que apresentam mais dias com precipitação igual ou superior a 20 mm. A estes juntam-se os meses de novembro a fevereiro como os que apresentam mais dias com precipitação igual ou superior a 50 mm. Precipitações iguais ou superiores a 100 mm são mais frequentes nos meses de novembro a fevereiro.

Estas precipitações, registadas a seguir a vários meses chuvosos têm, geralmente, mais impactos no território, uma vez que a capacidade de retenção do solo é muito menor, o solo já se encontra saturado, aumentando o escoamento superficial, que pode dar origem a cheias.

No que diz respeito à precipitação máxima diária anual, os quantitativos de precipitação ocorreram nos meses de Inverno como é expectável. O menor quantitativo de precipitação diária máxima anual é de 36,5 mm com um período de retorno de um ano, enquanto o maior valor de precipitação máxima diária anual registado na serie é 159,8 mm com um período de retorno de 78 anos registado no mês de janeiro.

3.2. Condições de escoamento e cheias

3.2.1. Informação geográfica para análise da área de estudo

A cartografia utilizada no presente estudo encontra-se resumida no Quadro 29.

Para o pré-processamento das variáveis recorreu-se a dois softwares de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) – QGIS e ArcGIS –, o primeiro para obtenção dos mapas e respetivas variáveis e o segundo para tratamento e exposição dos resultados. Ao longo trabalho a resolução utilizada é de 5 m (células de 25 m^2).

Todos os mapas utilizados nos diversos processos encontram-se no sistema de referenciação PT-TM06/ETRS89.

Quadro 29: *Cartografia utilizada na caracterização e análise da área de estudo.*

Informação Geográfica	Fonte	Escala	Aplicação
Carta administrativa oficial de Portugal (CAOP 2018)	Direção Geral do Território	1/25.000	Enquadramento
Altimetria	Município de Vila do Conde	1/5.000	Modelo numérico de elevação, declive, exposição…
	Instituto Geográfico do Exército	1/25.000	
Hidrografia	Município de Vila do Conde	1/5.000	Rede hidrográfica de base, delimitação de bacias, densidade de drenagem…
	Instituto Geográfico do Exército	1/25.000	
Geologia	Laboratório Nacional de Energia e Geologia (INETI/LNEG)	1/50.000	Caraterização, permeabilidade
Solos	Direção Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural(DGADR)	1/100.000	Caracterização, Número de escoamento (CN)
COS 2015	Direção Geral do Território	1/25.000	Caracterização
Ortofotomapas	Direção Geral do Território	Resolução 30cm	Validação e espacialização

3.2.2. Modelo Numérico de Elevação

O Modelo Numérico de Elevação (MNE) foi criado com base na informação topográfica (Altimetria) à escala 1/5.000 e 1/25.000, em que, a partir das curvas de nível e pontos cotados, foi criada uma rede irregular de triângulos (TIN).

O MNE assume uma importância que se destaca no contexto dos estudos de hidrológicos e, em particular, no estudo da dinâmica dos processos em bacias hidrográficas. O MNE constitui "um dos mais importantes temas para o processo de análise de suscetibilidade" (Reis et al., 2003), e dele são derivados elementos como a posição relativa dos relevos, a exposição aos fluxos pluviogénicos, a altitude, o desnível e o declive (Ramos, 2009). A altitude e a exposição das vertentes constituem só por si fatores determinantes no comportamento de diversos elementos climáticos. As características morfológicas como o declive, extensão, forma das vertentes e inclinação dos talvegues derivadas do MNE têm incidência direta nas condições de escoamento e de erosão (Reis, 2006).

O MNE permitiu a obtenção dos mapas de altitude, declive e exposição das vertentes apresentaram-se na primeira parte deste trabalho, de caracterização, e a identificação e caracterização da rede de drenagem.

3.2.3. Solos, formações litológicas e ocupação do solo

Os tipos de solos e as formações litológicas, à escala 1/100.000 e 1/50.000, obtidos através da Carta de Solos e Carta de Aptidão da Terra para a Agricultura da DGADR e da Carta Geológica de Portugal do INETI/LNEG, respetivamente, foram utilizadas numa primeira fase de caracterização; e numa segunda fase, o tipo de solo foi utilizado para a determinação do Número de Escoamento na bacia do rio Ave e e na Bacia do Rio Onda e as formações geológicas foram utilizadas na identificação da permeabilidade, aplicada na determinação do modelo de suscetibilidade, apresentado mais adiante neste trabalho.

A ocupação do solo, para além da caracterização da sua evolução, permitiu a obtenção do Coeficiente de Escoamento (CN), para obtenção do Tempo de Concentração e Caudal de Ponta de Cheia segundo o método do *Soil Conservation Service*, assim como para determinação do coeficiente de rugosidade (coeficiente de *Manning*) para a modelação hidráulica.

3.3. Avaliação das condições de escoamento nas bacias hidrográficas

A análise das cheias e a avaliação da suscetibilidade a inundações pressupõem sempre o estudo de toda a bacia hidrográfica; daí a importância em delimitar as bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda, bem como a caracterização das suas componentes biofísicas, de forma a conhecer todo o conjunto da rede hidrográfica, o seu comportamento e a forma como esta responde perante fenómenos de precipitação.

O Tempo de concentração é considerado uma característica constante da bacia hidrográfica, independente das características das chuvadas, mas na dependência de diversos fatores condicionantes (área, relevo, forma e características da rede de drenagem). Já a perda de precipitação na bacia é fundamentalmente condicionada pelas condições antecedentes de armazenamento de água no solo, coberto vegetal, uso do solo, tipo de solos e litologia.

O comportamento dos cursos de água é influenciado por vários fatores que dão origem a cheias, são divididos segundo Ramos (2005 e 2009) em desencadeantes, condicionantes e agravantes. O fator desencadeante refere-se essencialmente à precipitação, pois por muito propícia que uma bacia hidrográfica seja a cheias, se não ocorrer precipitações dificilmente ocorreriam cheias. Os fatores condicionantes das cheias podem ser permanentes ou variáveis, influenciando o tempo de concentração numa bacia hidrográfica através da geometria, rede de drenagem, relevo, solo e subsolo, ou seja, determinam o grau de predisposição das bacias hidrográficas à ocorrência de cheias. Os fatores agravantes podem ser naturais, devido a obstáculos transportados pelas cheias ou artificiais devido ao estreitamento artificial dos canais fluviais, à obstrução artificial e impermeabilização do solo.

A avaliação dos caudais de ponta de cheia efetua-se com recurso a vários métodos tomando-se por base o método do *Soil Conservation Service*, por ser o método que entra em linha de conta com a ocupação do solo, permitindo uma

análise mais fidedigna.

3.3.1. Delimitação das bacias

Define-se como bacia hidrográfica de um curso de água, relativa a uma dada secção, a área de terreno que contribui com as águas que nela se precipitam, para alimentar o caudal desse curso de água na secção considerada (secção de fecho da bacia).

A área de estudo foi delimitada automaticamente em ambiente SIG no software QGIS, com base no Modelo Numérico de Elevação (MNE), gerado a partir da altimetria 1/10.000 e 1/25.000, e melhorado com a hidrografia à mesma escala. Comparados os resultados obtidos, com os dados disponibilizados pela APA, no visualizador do Sistema Nacional de Informação de Ambiente (SNIAmb), concluiu-se que a delimitação coincidia de forma satisfatória, tendo-se optado por utilizar os dados oficiais da APA.

3.3.2. Análise quantitativa das componentes biofísicas das bacias

A análise quantitativa das bacias hidrográficas divide-se em: linear, areal e hipsométrica. A análise linear engloba os indicadores relativos à rede de drenagem, cujas medições são efetuadas ao longo das linhas de água. A análise areal engloba os indicadores nos quais intervêm medições planimétricas. A análise hipsométrica representa a terceira dimensão das bacias, ou seja, os indicadores dependentes do relevo.

Os índices que se apresentam de seguida foram calculados em ambiente SIG e encontram-se descritos em Reis (1996) e Ramos (2009).

i. Geometria

Segundo Ramos (2009) no que diz respeito à geometria de uma bacia hidrográfica existem quatro componentes relevantes a ter em conta: a área (A), o perímetro (P), o comprimento (Cb) e a forma da bacia.

O critério utilizado para obtenção do comprimento das bacias foi o comprimento do curso de água principal (Cp). A área e a forma da bacia são as características mais importantes no estudo do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica. Em condições climáticas semelhantes, e em igualdade dos restantes fatores, as bacias que apresentam maior área, produzirão caudais de ponta mais elevados. Em contrapartida, a tendência para grandes cheias será tanto mais acentuada, quanto mais próximo da forma circular for a bacia (Reis, 1996; Ramos, 2009).

A bacia hidrográfica do rio Ave tem uma área de 1391,20 km² e um perímetro de 303,20 km. Existem vários índices para determinar o factor de forma (Ff) da bacia. O factor de forma (Horton), Ff, varia entre 0,1 para bacias alongadas e 0,9 para bacias arredondadas. O índice de Gravelius ou coeficiente de compacidade, Kc, varia entre 1 para bacias circulares e 1,6 para bacias compactas. O índice de circularidade (Miller), Ic, indica que quanto mais o resultado se aproximar de 1 (valor máximo), mais circular será a bacia. O Índice de alongamento (Schumm), Ia, varia entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 0 for o valor, mais alongada será a bacia. O índice de homogeneidade (Pinchemel),

Ih, relaciona a bacia com uma forma oval, varia entre 0 para bacias alongadas e 1 para bacias arredondadas. A formulação destes índices pode ser encontrada, por exemplo, em Reis (1996) e Ramos (2009) e são apresentados de forma sucinta de seguida:

Fator Forma (Horton) – Ff

Uma bacia hidrográfica, quando representada num plano, apresenta a forma geral de uma pera. Dependendo da interação clima-geologia, todavia, várias outras formas geométricas podem existir. Em qualquer situação a superfície da bacia é côncava, a qual determina a direção geral do escoamento.

A forma é uma das características físicas mais difíceis de ser expressas em termos quantitativos. A forma da bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode ser influenciada por algumas outras características da bacia, principalmente pela geologia. A forma pode, também, atuar sobre alguns dos processos hidrológicos, ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. Inúmeros métodos de descrição da forma da bacia foram apresentados, conforme explicado com detalhes na literatura (MORISAWA, 1968), (GREGORY & WALLING, 1973).

HORTON (1932) propôs o fator de forma, definido pela fórmula:

$$F = \frac{A}{L^2}$$

onde:

F = fator de forma,

A = área da bacia,

L = comprimento do eixo da bacia (da foz ao ponto extremo mais longínquo no espigão).

Este índice de forma pode, por exemplo, dar alguma indicação sobre a tendência a inundações, conforme ilustrado na Figura 19.

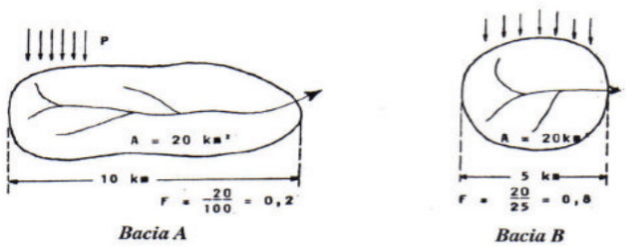


Figura 19: *Ilustração da determinação do fator de forma para duas bacias de mesma área.*

O escoamento direto de uma dada chuva na bacia (A) não se concentra tão rapidamente como em (B), além do fato de que bacias longas e estreitas como a (A) são mais dificilmente atingidas integralmente por chuvas intensas (SCHWAB et

al.,1966). Comparativamente, bacias de fator de forma maior têm maiores chances de sofrer inundações do que bacias de fator de forma menor.

Índice de Gravelius - Kc

Segundo Villela e Mattos (1975) o Coeficiente de compacidade (Kc) ou índice de Gravelius é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a área da bacia. O Kc é um valor adimensional que varia com a forma da bacia, assim quanto mais irregular a bacia, maior será o coeficiente de compacidade e menor a tendência a inundações. A bacia será mais suscetível a inundações quando o valor de Kc se aproximar de 1.

Este coeficiente é determinado com base na equação:

$$Kc = 0{,}28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

onde:

P = perímetro (km)

A = área de drenagem (km²).

Considera-se que:

Kc=1 => forma circular

Kc <> 1 => forma irregular

Índice de circularidade (Miller) - Ic

Outro índice de forma é o chamado "índice de Circularidade" proposto por Miller em 1953 (citado por CHRISTOFOLETTI, 1974), de acordo com a fórmula:

$$Ic = 12{,}57 \cdot \frac{A}{P^2}$$

onde:

IC = índice de circularidade < 1,

A = área da bacia,

P = perímetro da bacia,

Quanto mais próximo de 1, mais próxima da forma circular será a bacia hidrográfica.

Tonello et al. (2006) informam que simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada.

Índice de alongamento (Schumm) - Ia

Outro índice importante é o de alongamento (Ia) que indica quanto menor este índice menor o risco de cheias na bacia hidrográfica. É obtido através da equação:

$$Ia = 2 \cdot \frac{\frac{\sqrt{A}}{\pi}}{LB}$$

onde:

A = área da bacia,

LB = comprimento da bacia.

Considera-se que:

Ia=1 => forma circular

Ia -->0 => forma alongada

Índice de Homogeneidade (Pinchemel) - Ih

O Índice de Homogeneidade (PINCHEMEL,in LOURENÇO,1989) pretende verificar o grau de homogeneidade morfométrica da bacia comparando-a a um ovoide:

$$Ih = \frac{A}{3{,}985(L/2{,}59)^2}$$

onde:

A = área da bacia,

LB = comprimento da bacia.

Considera-se que:

Ih -->1 => forma homogénea

Ih -->0 => forma heterogénea

O fator forma de Horton para o Ave é de 0,2 e para o Onda é de 0,52 o que confirma que a bacia do primeiro tem a forma mais alongado que a do segundo.

O índice de Gravelius ou de compacidade é de 2,28 para o Ave e 1,67 para o Onda; estes valores anunciam níveis de perigosidade a ter em conta, principalmente no rio Onda, pois indicam que a bacia tem forma aproximadamente circular e, como tal, mais suscetível a cheias.

No Quadro 30 apresenta-se o resultado das características da geometria das bacias dos rios Ave e Onda.

Quadro 30: *Parâmetros geométricos das bacias dos rios Ave e Onda.*

Indicador	Parâmetros	Bacia do Ave	Bacia do Onda
		Valor	Valor
A	Área (km²)	1391,20	47,20
P	Perímetro (km)	303,20	40,90
L	Comprimento do Eixo da Bacia (km)	70,12	9,49
Cb	Comprimento da Linha de Água Principal (km)	100,14	14,56
Ff	Fator Forma (Horton)	0,28	0,52
Kc	Índice de Gravelius	2,28	1,67
Ic	Índice de circularidade (Miller)	0,19	0,35
Ia	Índice de alongamento (Schumm)	0,34	0,46
Ih	Índice de Homogeneidade (Pinchemel)	0,48	0,88

ii. Rede de drenagem

As características da rede de drenagem e as cheias estão interligadas. Uma bacia bem drenada, com uma rede de drenagem de baixa sinuosidade e com uma inclinação elevada, será mais favorável à ocorrência de cheias e produzirá rapidamente caudais de ponta elevados.

A rede de drenagem pode ser caracterizada pela Hierarquia segundo Strahler, pela Magnitude segundo Shreve, pelo comprimento do curso de água principal, pela densidade hídrica e pela densidade de drenagem.

A hierarquia segundo Strahler procura classificar os cursos de água por ordem de importância. Assim, os canais de ordem 1 são os que não possuem tributários, os de ordem 2 resultam da confluência de dois canais de ordem 1, os de ordem 3 resultam da confluência de dois canais de ordem 2 e assim sucessivamente (Ramos, 2009). No que diz respeito à magnitude nas bacias de drenagem, sob condições geomorfológicas e climáticas similares, o escoamento depende, em grande parte, do número de cursos de água nelas existentes. Ele será tanto maior quanto maior for o número de canais em funcionamento (Ramos, 2009). A magnitude de um curso de água é igual ao número de cabeceiras que lhes são tributárias, ou seja, na prática, estas correspondem ao número de canais de ordem 1, segundo o critério de Strahler. No estudo das cheias, a utilização conjunta da hierarquia e da magnitude da rede de drenagem deve ser implementada, pois os cursos de água com o mesmo nº de ordem, mas com diferentes magnitudes, respondem de forma diferente às cheias.

Para a completa análise da rede de drenagem é importante determinar o comprimento do curso de água principal, que é a distância (em km) medida desde a sua cabeceira à sua desembocadura.

Para além dos parâmetros anteriores, são igualmente importantes a densidade de drenagem (Horton), Dd, a densidade hídrica da bacia (Horton), Dh, e o coeficiente de torrencialidade, Ct.

A densidade de drenagem exprime a relação entre o comprimento total dos cursos de água da bacia sejam eles perenes, sazonais ou ocasionais, e a área da sua bacia. Em condições similares a densidade de drenagem depende fundamentalmente do substrato geológico e do relevo. Fornece uma indicação da eficiência da drenagem natural das

bacias, sendo estas tanto mais bem drenadas quanto maior for o seu valor.

Em igualdade dos restantes fatores, as bacias com maior densidade de drenagem tenderão a estar mais sujeitas a cheias do que bacias com menor densidade de drenagem.

A densidade hídrica representa a capacidade que a área tem em gerar novos cursos de água. Obtém-se a partir da relação entre o número total de cursos de água da bacia e a área da bacia. Segundo o critério de Strahler, o número de cursos de água corresponde aos de ordem "1", portanto à magnitude de Shreve de uma bacia.

O coeficiente de torrencialidade é um índice utilizado sobretudo em pequenas bacias, afetadas pelo escoamento torrencial. Resulta do produto entre a densidade hidrográfica e a densidade de drenagem. A torrencialidade de uma bacia será tanto maior quanto mais elevado for o valor do índice.

No Quadro 30 apresentam-se os valores das características da rede hidrográfica das bacias dos rios Ave e Onda.

Para ser obtida a rede de drenagem é necessário efetuar alguns procedimentos a partir do modelo gerado. Em primeiro lugar, são calculados sentidos dos fluxos (em octantes), ou seja, para que direção flui o escoamento em cada uma das células da área (Figura 20). De seguida, e a partir das direções, são calculadas as acumulações nas mesmas células (Figura 21).

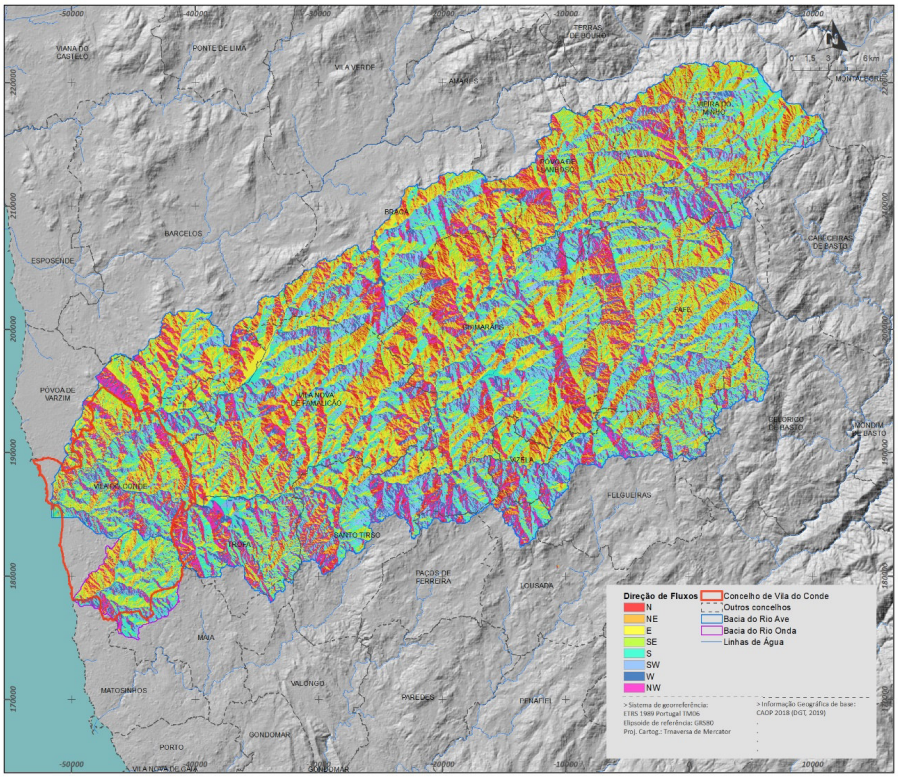


Figura 20: *Direção dos fluxos (em octantes)*

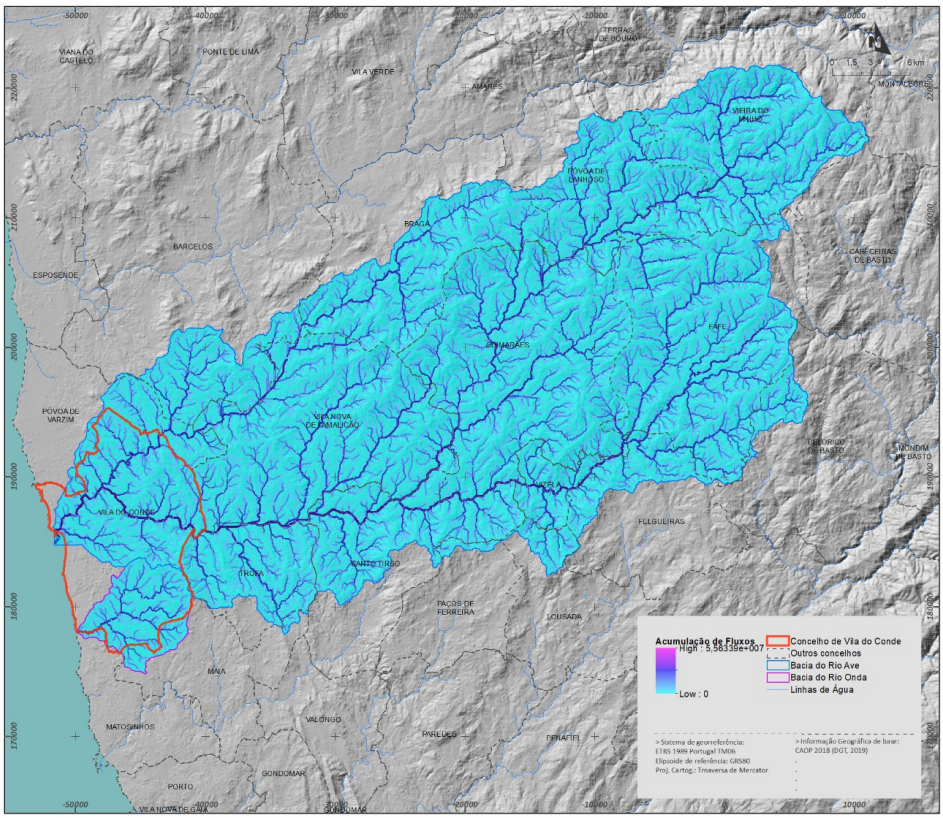


Figura 21:*Acumulação de fluxos (nº de células)*

Quadro 31: *Características da rede de drenagem nas bacias dos rios Ave e Onda.*

Indicador	Parâmetros	Bacia do Ave	Bacia do Onda
		Valor	Valor
St	Hierarquia de Strahler	8	5
Sh	Magnitude de Shreve	11545,00	418,00
L	Comprimento do curso de água principal (km)	100,14	14,56
Ct	Comprimento total dos cursos de água (km)	5021,80	180,38
Am	Altitude mínima do CAP (m)	-9,02	-1,28
AM	Altitude máxima do CAP (m)	1056,63	162,51
Dd	Densidade de Drenagem (Horton) (km/km²)	3,61	3,82
Dh	Densidade Hídrica (Horton) (nº de cursos de água/ km²)	8,33	8,98
IT	Índice de Torrencialidade	30,07	34,33

A rede de drenagem foi obtida através de uma inquirição à base de dados, com base em uma função condicional. A expressão utilizada permite definir o valor de acumulação a partir do qual a rede é obtida. Desta forma foram testados valores de acumulação desde 50 células (1.250m²) a 10.000 células (250.000m²). Optou-se pela acumulação de 1.200 células (30.000 m²), por ser a que se verificava mais próxima da rede vetorial de referência. Com base neste procedimento o rio de Ave (canal principal) desenvolve-se ao longo de uma extensão de 100,14 km, até atingir o mar.

Já o rio Onda desenvolve-se ao longo de uma extensão de 14,56 km, até chegar ao mar. O comprimento total dos cursos de água do Ave é de 5.021,80 km, o que perfaz uma densidade de drenagem da bacia hidrográfica de 3,61 km/km². No Onda o comprimento total dos cursos de água é de 180,38 km, o que perfaz uma densidade de drenagem da bacia hidrográfica de 3,82 km/km².

De acordo com Horton, podemos classificar uma bacia hidrográfica quanto à densidade de drenagem em:

Quadro 32: *Drenagem de bacias hidrográficas.*

Densidade de Drenagem (Dd)	Drenagem da Bacia
< 0,5 km/km²	Pobre
0,5 a 1,5 km/km²	Regular
1,5 a 2,5 km/km²	Boa
2,5 a 3,5 km/km²	Muito Boa
> 3,5 km/km²	Excecional

Comparativamente com os resultados obtidos para os rios Ave (3,61 km/km²) e Onda (3,82 km/km²) podemos afirmar que estamos perante bacias hidrográficas muito bem drenadas.

A bacia do Ave atinge ordem 8 na classificação de Strahler e uma magnitude de 1113 na classificação de Shreve, sendo uma rede de drenagem bastante ramificada. A bacia do Onda atinge a ordem 5, uma magnitude de 418 na classificação de Shreve, sendo por isso uma rede bastante ramificada.

iii. Relevo

O relevo influência de forma determinante o comportamento das bacias hidrográficas relativamente às cheias (Ramos, 2009). É avaliado a partir da determinação da amplitude altimétrica (m), das altitudes máxima e mínima (m), da relação de relevo de Shumm, do Índice de rugosidade (Melton) e da inclinação do curso de água principal, medida em % e em m/km.

A amplitude altimétrica, **D**, corresponde à diferença entre a altitude do ponto mais elevado da bacia, **AM**, e a altitude mínima que corresponde à desembocadura da bacia, **Am** (Ramos, 2009). Este parâmetro tem influência sobre a energia potencial da água; o seu incremento conduz a um aumento da velocidade de escoamento.

A Relação de relevo (Schumm), **Rr**, é a razão entre a amplitude altimétrica, **D**, da bacia e o comprimento da bacia, **Cb**, medido paralelamente ao curso de água principal.

$$Rr = \frac{D}{Cb}$$

Rr = Relação de Relevo,

D = Amplitude altimétrica (m),

Cb = Maior Comprimento da Bacia (m).

É um indicador da inclinação da bacia influenciando, por isso, a velocidade de escoamento. Quanto maior for a relação

de relevo de uma bacia mais rápida é a chegada das águas à sua desembocadura.

O índice de rugosidade (Melton), **Ir**, combina o declive e o comprimento das vertentes com a densidade de drenagem, expressando-se como número adimensional, que resulta do produto entre a amplitude altimétrica, **D** e a densidade de drenagem, **Dd**.

$$Ir = D \,.\, Dd$$

Rr = Relação de Relevo,

D = Amplitude altimétrica,
Dd = Densidade de drenagem.

Este índice será tanto maior quanto mais acidentada for a bacia e mais dissecada a bacia estiver pela erosão fluvial. As áreas potencialmente assoladas por cheias rápidas são possuidoras de elevados índices de rugosidade.

Os resultados da análise das características de relevo nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda apresentam-se no Quadro 33.

Quadro 33: *Características dos parâmetros do relevo das bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda.*

Indicador	Parâmetros	Bacia do Ave	Bacia do Onda
		Valor	Valor
Am	Altitude mínima do CAP (m)	-9,02	-1,28
AM	Altitude máxima do CAP (m)	1056,63	162,51
D	Amplitude altimétrica (m)	1065,65	163,79
Cb	Maior Comprimento da bacia (m)	100316	14919
Rr	Relação de relevo (Schumm) (m/m)	0,0106	0,0110
Ir	Índice de Rugosidade (Melton)	3846,67	625,94

A bacia do Ave possui uma amplitude altimétrica de 1.065,65 m, com altitude máxima de 1.056,63 m (sector NE) e altitude mínima de -9,02 m (sector Oeste, na desembocadura). Na bacia do Onda a amplitude altimétrica é de 163,79 m, com altitude máxima de 162,51 m (sector NE) e altitude mínima de -1,28 m (sector Oeste, na desembocadura).

A relação do relevo proposto por Schumm (1956) é de 0,0106 m/m no Ave e de 0,0110 m/m no Onda, valores baixos, sugerindo bacias hidrográficas com relevo relativamente suave e o índice de rugosidade de Melton é de 3846,67 no Ave e 625,94 no Onda.

iv. Número de Escoamento

Os solos e o substrato geológico condicionam o escoamento superficial, as pontas de cheias e os fenómenos de erosão nas bacias hidrográficas, logo a carga sólida que os cursos de água podem transportar durante as cheias (Ramos,

2009). Os primeiros constituem a película superficial das bacias e influenciam o escoamento destas através da sua espessura e textura; por sua vez, o segundo influencia o escoamento através de litofácies, da estrutura e da rede de falhas e fraturas (Ramos, 2009).

Para se quantificar o número de escoamento (**CN**) é habitual recorrer-se à classificação hidrológica dos solos. De acordo com a classificação apresentada pelo Soil Conservation Service (SCS) os solos podem ser classificados em quatro tipos – A, B, C e D –, com capacidade crescente de gerar escoamento à superfície do terreno (Quadro 34).

Quadro 34: *Classificação hidrológica dos solos segundo o SCS (adaptado de Lencastre e Franco, 1992).*

Tipo de Solo (Grupo)	**Características dos Solos**
A	**Baixo potencial de escoamento superficial**. Solos dando origem a baixo escoamento direto, ou que apresentam permeabilidade bastante elevada. Inclui areias com bastante espessura, e com pouco limo ou argila, e arenitos com bastante espessura e muito permeáveis.
B	**Potencial de escoamento superficial abaixo da média.** Solos menos permeáveis que os do tipo A mas com permeabilidade superior à média. Inclui fundamentalmente solos arenosos menos espessos que os do grupo A.
C	**Potencial de escoamento superficial acima da média.** Solos originando escoamentos diretos superiores à média e superiores aos originados pelos grupos anteriores. Inclui solos pouco espessos e solos com quantidades apreciáveis de argilas, se bem que menos do que os do grupo D.
D	**Elevado potencial de escoamento superficial.** Solos com argilas expansivas e solos pouco espessos, com sub-horizontes quase impermeáveis que originam elevado escoamento direto.

De acordo com a classificação anterior, determinou-se o número de escoamento com base no cruzamento do tipo de solo da Carta de Solos e dos usos e ocupação do solo da COS215 (Quadro 35, 36 e Figura 22). Para tal utilizou-se as indicações para regiões agrícolas, urbanas e suburbanas e para maior pormenor das regiões rurais, segundo o SCS (Correia, 1984b) (Quadro 34 e Figura 23).

Quadro 35: *Definição das condições antecedentes de humidade (Correia 1984b).*

Utilização ou Cobertura do Solo		**Tipo de Solo**			
		A	**B**	**C**	**D**
Zonas Cultivadas	Sem medidas de conservação do solo	72	81	88	91
	Com medidas de conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou baldios	Em más condições	68	79	86	89
	Em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosque ou zonas Florestais	Cobertura má, sem Mulch	45	66	77	83
	Boa cobertura	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, etc	Boas condições: relva cobrindo mais de 75% da área	39	61	74	80
	Condições razoáveis: Relva cobrindo de 50 a 45% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios (85% de área impermeável)		89	92	94	95
Zonas industriais (72% de área impermeável)		81	88	91	93
Zonas Residuais (áreas médias dos lotes e percentagem média impermeável)	< 500m² - 65%	77	85	90	92
	1000m² - 38%	61	75	83	87
	1300m² - 30%	57	72	81	86

	2000m² - 25%	54	70	80	85
	4000m² - 20%	51	68	79	84
Parques de Estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas	Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
	Gravilha	76	85	89	91
	Terra	72	82	87	89
Solo lavrado		77	86	91	94
Culturas arvenses	segundo o maior declive	64	76	84	88
	segundo as curvas de nível	62	74	82	85
	segundo as curvas de nível e em terraços	60	71	79	82
Rotações de culturas	segundo o maior declive	62	75	83	87
	segundo as curvas de nível	60	72	81	84
	segundo as curvas de nível e em terraços	57	70	78	82
Pastagens	pobre	68	79	86	89
	normal	49	69	79	84
	boa	39	61	74	80
	pobre segundo o maior declive	47	67	81	88
	normal segundo o maior declive	25	59	75	83
	boa segundo o maior declive	6	35	70	79
Prado permanente	normal	30	58	71	78
Zonas sociais rurais	normal	59	74	82	86
Estradas	pavimento permeável	72	82	87	89
	pavimento impermeável	74	84	90	92
Florestas	muito abertas ou de baixa transpiração	56	75	86	91
	abertas ou de baixa transpiração	46	68	78	84
	normal	36	60	70	76
	densas ou de alta transpiração	26	52	62	69
	muito densas ou de alta transpiração	15	44	54	61
Superfície Impermeável		100	100	100	100

Quadro 36: *Número de escoamento calculado com base nos dados do tipo de solos e da ocupação do solo (2015) na bacia do Ave.*

Utilização ou Cobertura do Solo	Tipo de Solos	Valor (CN)	Área (%)
Aeroportos e aeródromos	C	98	0,001%
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	A	72	0,029%
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	B	81	2,766%
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	C	88	0,265%
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	D	91	0,097%
Áreas de deposição de resíduos	A	49	0,003%
Áreas de deposição de resíduos	B	69	0,030%
Áreas de deposição de resíduos	C	79	0,026%
Áreas de deposição de resíduos	D	84	0,006%
Áreas de extracção de inertes	B	100	0,291%
Áreas de extracção de inertes	C	100	0,020%
Áreas de extracção de inertes	D	100	0,001%
Áreas em construção	A	59	0,002%

Áreas em construção	B	74	0,239%
Áreas em construção	C	82	0,177%
Áreas em construção	D	86	0,038%
Campos de golfe	B	61	0,001%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	A	60	1,340%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	A	60	0,008%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	B	72	13,732%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	B	72	0,068%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	C	81	4,983%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	D	84	0,316%
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	A	49	0,003%
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	B	69	1,070%
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	C	79	0,161%
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	D	84	0,015%
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	A	68	0,019%
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	B	79	0,639%
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	C	86	0,007%
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	D	89	0,001%
Espaços verdes urbanos	A	39	0,006%
Espaços verdes urbanos	B	61	0,078%
Espaços verdes urbanos	C	74	0,014%
Espaços verdes urbanos	D	80	0,064%
Florestas de castanheiro	B	60	0,032%
Florestas de espécies invasoras	A	26	0,000%
Florestas de espécies invasoras	B	52	0,042%
Florestas de espécies invasoras	C	62	0,004%
Florestas de eucalipto	A	36	0,101%
Florestas de eucalipto	B	60	19,043%
Florestas de eucalipto	C	70	4,355%
Florestas de eucalipto	D	76	0,154%
Florestas de outras folhosas	A	26	0,132%
Florestas de outras folhosas	B	52	4,937%
Florestas de outras folhosas	C	62	0,197%
Florestas de outras folhosas	D	69	0,126%
Florestas de outras resinosas	A	46	0,001%
Florestas de outras resinosas	B	68	0,193%
Florestas de outras resinosas	C	78	0,005%
Florestas de outras resinosas	D	84	0,001%
Florestas de outros carvalhos	A	26	0,045%
Florestas de outros carvalhos	B	52	2,102%
Florestas de outros carvalhos	B	52	0,018%
Florestas de outros carvalhos	C	62	0,018%
Florestas de outros carvalhos	D	69	0,017%
Florestas de pinheiro bravo	A	46	0,050%
Florestas de pinheiro bravo	B	68	5,055%
Florestas de pinheiro bravo	C	78	2,123%
Florestas de pinheiro bravo	D	84	0,071%
Florestas de pinheiro manso	B	75	0,013%
Florestas de pinheiro manso	C	86	0,007%
Florestas de sobreiro	B	75	0,001%
Florestas de sobreiro	C	86	0,002%
Indústria, comércio e equipamentos gerais	A	81	0,063%

Indústria, comércio e equipamentos gerais	B	88	1,095%
Indústria, comércio e equipamentos gerais	C	91	0,590%
Indústria, comércio e equipamentos gerais	D	93	0,485%
Matos	A	68	0,020%
Matos	B	79	8,698%
Matos	C	86	0,526%
Matos	D	89	0,148%
Olivais	A	62	0,001%
Olivais	B	74	0,014%
Olivais	C	82	0,001%
Outras Instalações desportivas e equipamentos de lazer	A	39	0,010%
Outras Instalações desportivas e equipamentos de lazer	B	61	0,118%
Outras Instalações desportivas e equipamentos de lazer	C	74	0,033%
Outras Instalações desportivas e equipamentos de lazer	D	80	0,045%
Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas	A	39	0,007%
Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas	B	61	0,033%
Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas	C	74	0,005%
Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas	D	80	0,023%
Pastagens permanentes	B	69	0,199%
Pastagens permanentes	C	79	0,008%
Pastagens permanentes	D	84	0,007%
Pomares	A	62	0,029%
Pomares	B	74	0,556%
Pomares	C	82	0,073%
Pomares	D	85	0,006%
Rede viária e espaços associados	A	74	0,015%
Rede viária e espaços associados	B	84	0,470%
Rede viária e espaços associados	C	90	0,165%
Rede viária e espaços associados	D	92	0,037%
SAF de outros carvalhos	B	81	0,002%
SAF de pinheiro manso	A	72	0,002%
SAF de pinheiro manso	B	81	0,006%
Sistemas culturais e parcelares complexos	A	49	0,057%
Sistemas culturais e parcelares complexos	B	69	1,928%
Sistemas culturais e parcelares complexos	C	79	0,448%
Sistemas culturais e parcelares complexos	D	84	0,148%
Tecido urbano contínuo	A	81	0,049%
Tecido urbano contínuo	B	88	2,472%
Tecido urbano contínuo	C	91	0,579%
Tecido urbano contínuo	D	93	1,073%
Tecido urbano descontínuo	A	59	0,158%
Tecido urbano descontínuo	A	59	0,008%
Tecido urbano descontínuo	B	74	8,147%
Tecido urbano descontínuo	B	74	0,068%
Tecido urbano descontínuo	B	74	0,018%
Tecido urbano descontínuo	C	82	1,413%
Tecido urbano descontínuo	D	86	1,689%
Vegetação herbácea natural	A	49	0,014%
Vegetação herbácea natural	B	69	0,634%
Vegetação herbácea natural	C	79	0,173%
Vegetação herbácea natural	D	84	0,044%
Número de escoamento ponderado da bacia hidrográfica do rio Ave		**CN II =**	**71,0**

Quadro 37: *Número de escoamento calculado com base nos dados do tipo de solos e da ocupação do solo (2015) na bacia do Onda.*

Utilização ou Cobertura do Solo	Tipo de Solos	Valor (CN)	Área (%)
Aeroportos e aeródromos	C	98	0,168%
Aeroportos e aeródromos	D	98	1,887%
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	B	81	0,124%
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	C	88	1,167%
Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	D	91	0,178%
Áreas em construção	B	74	0,202%
Áreas em construção	C	82	0,375%
Áreas em construção	D	86	0,090%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	A	60	0,014%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	B	72	5,160%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	B	72	0,329%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	B	72	0,000%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	C	81	35,223%
Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	D	84	0,821%
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	A	68	0,034%
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	D	89	0,006%
Espaços verdes urbanos	C	74	0,028%
Espaços verdes urbanos	D	80	0,069%
Florestas de eucalipto	B	60	9,327%
Florestas de eucalipto	B	60	0,000%
Florestas de eucalipto	C	70	7,495%
Florestas de eucalipto	D	76	0,257%
Florestas de outras folhosas	B	52	0,094%
Florestas de outras folhosas	C	62	0,331%
Florestas de outras folhosas	D	69	0,116%
Florestas de pinheiro bravo	A	46	0,168%
Florestas de pinheiro bravo	B	68	0,572%
Florestas de pinheiro bravo	B	68	0,329%
Florestas de pinheiro bravo	B	68	0,000%
Florestas de pinheiro bravo	C	78	7,081%
Florestas de pinheiro bravo	D	84	0,711%
Florestas de pinheiro manso	B	75	0,023%
Florestas de pinheiro manso	C	86	0,026%
Indústria, comércio e equipamentos gerais	B	88	0,793%
Indústria, comércio e equipamentos gerais	C	91	3,433%
Indústria, comércio e equipamentos gerais	D	93	0,425%
Matos	C	86	0,469%
Matos	D	89	0,096%
Outras Instalações desportivas e equipamentos de lazer	B	61	0,164%
Outras Instalações desportivas e equipamentos de lazer	C	74	0,187%
Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas	C	74	0,146%
Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas	D	80	0,027%
Pastagens permanentes	B	69	0,007%
Pastagens permanentes	C	79	0,043%
Pastagens permanentes	D	84	0,050%
Pomares	B	74	0,480%
Pomares	C	82	0,771%
Rede viária e espaços associados	C	90	0,868%
Sistemas culturais e parcelares complexos	B	69	0,916%
Sistemas culturais e parcelares complexos	C	79	2,952%
Sistemas culturais e parcelares complexos	D	84	0,310%
Tecido urbano contínuo	B	88	0,029%
Tecido urbano contínuo	C	91	1,789%

Tecido urbano contínuo	D	93	1,081%
Tecido urbano descontínuo	A	59	0,122%
Tecido urbano descontínuo	B	74	2,285%
Tecido urbano descontínuo	C	82	8,974%
Tecido urbano descontínuo	D	86	0,828%
Vegetação herbácea natural	B	69	0,028%
Vegetação herbácea natural	C	79	0,209%
Vegetação herbácea natural	D	84	0,027%
Vinhas	C	82	0,086%
Número de escoamento ponderado da bacia hidrográfica do rio Onda		**CN II =**	**78,3**

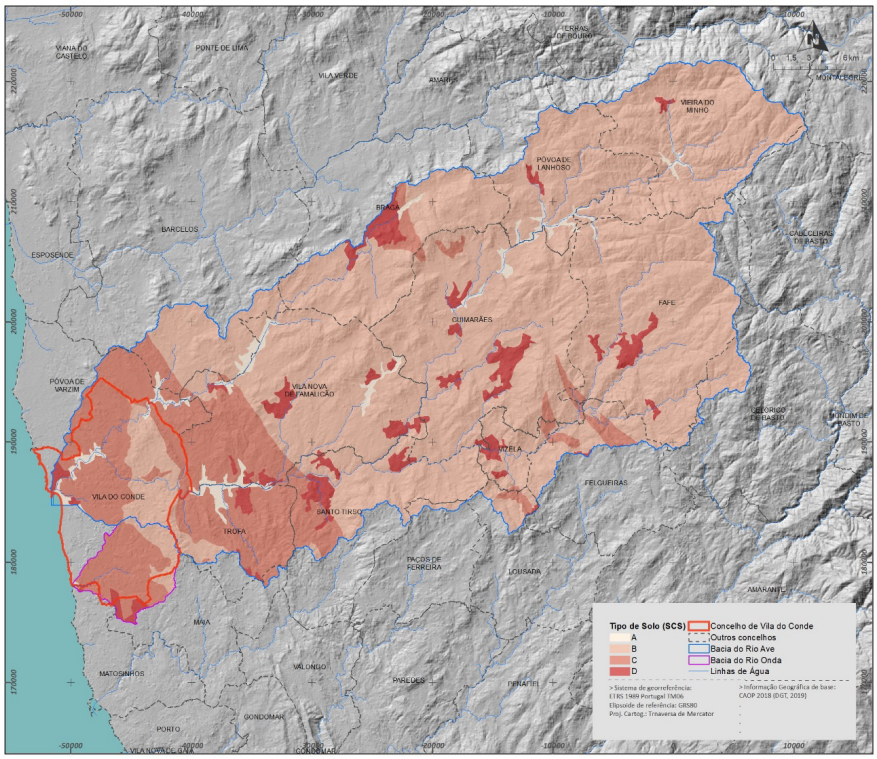


Figura 22: *Tipo de Solos, adaptado de SCS para as bacias do Ave do Onda.*

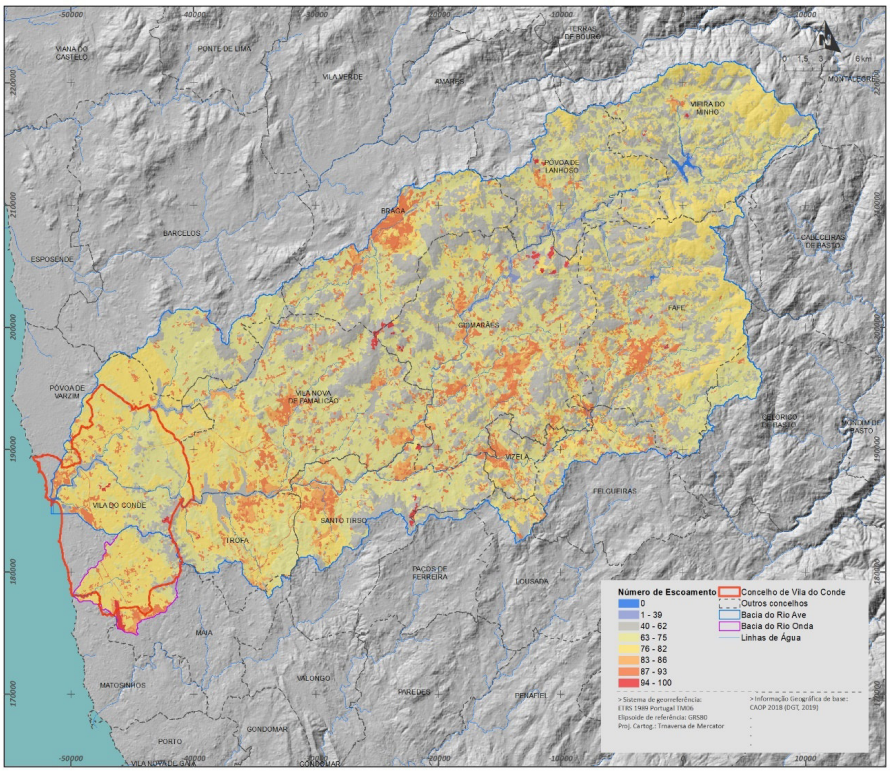


Figura 23: *Distribuição do número de escoamento calculado com base nos dados do tipo de solos e da ocupação do solo (2015) nas bacias do Ave do Onda.*

Com base na análise das bacias relativamente ao tipo de ocupação do solo e ao tipo de solo, optou-se pelas condições antecedentes de humidade – AMCII (Quadro 38), com base na média ponderado do CN, posteriormente utilizado no cálculo do tempo de concentração e do caudal de cheia.

Quadro 38: *Definição das condições antecedentes de humidade (Correia 1984b).*

Número de escoamento	**Características**
CNI	Situação em que os solos estão secos, mas não no ponto de emurchecimento. A consideração deste caso é pouco recomendável para estudos de caudais de cheia.
CNII	Situação média em que, segundo MOREL-SEYTOUX e VERDIN 1980, a humidade do solo deve corresponder aproximadamente à capacidade de campo. Esta situação corresponde provavelmente às condições de humidade antecedentes de cheias de pequenas dimensões.
CNIII	Situação em que ocorreram precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo se encontra quase saturado. Esta é a situação mais propícia à formação de maiores cheias e, portanto, aquela que se reveste de maior importância para projeto.

Mais adiante, no capítulo da modelação hidráulica, uma vez que foi necessária uma a análise mais detalhada ao nível das sub-bacias, apresentar-se-ão para cada uma delas um valor de CN, tempo de concentração e caudal de ponta.

iv. Tempo de concentração e resposta das bacias

O tempo de concentração (**Tc**) de uma bacia hidrográfica é o tempo necessário para que toda a sua área contribua para o escoamento superficial na secção da bacia, ou seja, é o tempo necessário para que uma gota de água no ponto hidraulicamente mais afastado da bacia chegue à secção de saída. Este parâmetro é, por isso, essencial para avaliar o caudal máximo de cheia. O tempo de concentração pode ser influenciado por diferentes ocupações da bacia hidrográfica, desde que tais ocupações alterem as características do movimento de que resulta a concentração da água na secção de referência da bacia (Portela et al., 2000).

O tempo de resposta (**Tr**) das bacias hidrográficas é o intervalo de tempo definido pelo centro da gravidade da precipitação útil e a ponta do hidrograma (Quadro 39).

Quadro 39: *Tempo de concentração (Tc), com base em diferentes métodos empíricos, e tempo de resposta (com base no valor do Tc adotado), das bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda*

Método	Fórmula	Tempo de concentração (Tc) (Horas)	
		Ave	Onda
Corps Engineers	$T_c = 0{,}191 L^{0{,}76} S^{-0{,}19}$	15,01	3,43
		15h06m	**3h26m**
Dooge	$T_c = 0{,}365\, A^{0{,}41} S^{-0{,}17}$	15,36	3,80
		15h22m	**3h48m**
Giandotti	$T_c = 0{,}0559(4{,}0A^{0{,}5} + 1{,}5L) L^{-0{,}5} S^{-0{,}5}$	16,21	6,81
		16h13m	**6h49**
Johnstone	$T_c = 0{,}462\, L^{0{,}5} S^{-0{,}25}$	14,39	5,41
		14h23m	**5h25m**
Kirpich	$T_c = 0{,}0663\, L^{0{,}77} S^{-0{,}385}$	13,23	2,93
		13h14m	**2h56m**
Pasini	$T_c = 0{,}107 A^{0{,}333} L^{0{,}333} S^{-0{,}5}$	53,56	8,88
		53h34m	**8h53m**
Pickering	$T_c = \left(\frac{0{,}871\, L^3}{H}\right)^{0{,}385}$	13,24	2,94
		13h14m	**2h56m**
Picking	$T_c = 0{,}0883\, L^{0{,}667} S^{-0{,}333}$	8,66	2,35
		8h40m	**2h21m**
Ven te Chow	$T_c = 0{,}160\, L^{0{,}64} S^{-0{,}32}$	13,06	3,73
		13h04m	**3h44m**
Ventura	$T_c = 0{,}127\, A^{0{,}5} S^{-0{,}5}$	45,92	8,23
		45h55m	**8h14m**
Soil Conservation Service	$t_c = \frac{100}{0.3048^{0.8}} \times \frac{L^{0.8} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{1900 \times Sm^{0.5}}$	1032,99	310,35
		17h13m	**5h10m**

Adotado	*Soil Conservation Service*	**17h13m**	**5h10m**
Tempo de Resposta	$T_r = 0{,}6T_c$	10,33	3,10
		10h20m	**3h06m**

A *– Área da Bacia Hidrográfica (km²),*
L *– Comprimento do talvegue principal (km),*
H *- Diferença de Cotas, de montante a jusante do talvegue principal (m),*
S *– Declive médio do talvegue principal (m/m),*
Sm *– Declive médio da bacia hidrográfica (%),*
CN *– Número de escoamento ponderado da bacia hidrográfica.*

Considerando que existem numerosos métodos para o cálculo do tempo de concentração e tratando-se de bacias urbanizadas, contendo ainda extensas áreas não urbanas, por exemplo a zona mais a montante do Ave, espera-se que o tempo de concentração possa também ser influenciado por diferentes ocupações das bacias hidrográficas. Assim, admite-se que o aumento da área com ocupação urbana possa resultar numa diminuição de **Tc** por promover a concentração rápida da bacia, fundamentalmente como resultado do aumento da área impermeável que oferece menor resistência ao escoamento (Portela et al., 2000). Foi neste sentido que se adotou o tempo de concentração proposto pelo SCS, que exprime a diminuição do tempo de concentração em consequência do aumento da área urbanizada (SCS, 1972, in Portela et al., 2000).

Uma vez que a bacia do rio Onda é considerada uma bacia de pequena dimensão (47,2 km²), com forma a tender para circularidade, os tempos de concentração e de resposta, de 5h10m e de 3h06m, respetivamente são relativamente reduzidos, o que leva a que seja uma bacia propícia à ocorrência de cheias rápidas.

A bacia do rio Ave, tem uma dimensão considerável (1.391,2 km²), com uma forma mais alongada, onde os tempos de concentração e de resposta, de 17h13m e de 10h20m, respetivamente são consideráveis, o que leva a que seja uma bacia propícia à ocorrência de cheias de uma forma mais lenta.

v. Caudal de ponta de cheia

Neste ponto, determinou-se o caudal de ponta de cheia para as bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda, com base em vários métodos de avaliação empíricos, não cinemáticos e cinemáticos. Estes métodos são aplicados a cursos de água que não dispõem de registos hidrométricos ou em que o seu número é insuficiente.

Os primeiros não entram em conta com o tempo de concentração; já os segundos consideram o tempo de concentração e a chuvada crítica - chuvada uniforme suscetível de causar o maior valor de caudal de ponta.

Por outro lado, a fiabilidade dos resultados seria maior se fossem utilizados métodos estatísticos e de correlação hidrológica. A aplicação destes métodos torna-se difícil, por um lado pela insuficiência de registos de caudais em séries suficientemente extensas que proporcionem uma adequada representatividade e, por outro lado, pelo pouco valor significativo que teriam uma vez que a ação do homem vai alterando as condições do coberto vegetal, e até de geomorfologia, modificando as condições do escoamento.

Tendo em conta as dimensões e características das bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda, os métodos empíricos não cinemáticos escolhidos foram os de Loureiro (1984) e de Portela e Dias (2003) e os métodos empíricos cinemáticos foram o da fórmula Racional, o de Torraza – Giandotti e o do SCS.

Precipitação

No estudo das cheias rápidas, os dados relativos à precipitação (fator desencadeante) é de grande importância, com particular incidência para os valores críticos em 24 horas, para determinada frequência, e para os valores críticos para chuvadas com duração igual ao tempo de concentração.

A designação de precipitações intensas está associada à ocorrência de volumes precipitados significativos nos incrementos de duração de chuvada usuais (de 5 minutos a um ou dois dias) (Brandão et al., 2001).

As curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) estabelecem a relação entre a intensidade, a duração e o período de retorno de uma dada chuvada. Brandão et al. (2001) apresentam curvas IDF para 27 postos udográficos em Portugal Continental, a partir do tratamento estatístico das séries anuais de intensidade de precipitação máxima nos respetivos postos.

Estas curvas resultaram do ajustamento às séries em estudo de uma curva do tipo potencial dada por:

$$I = a\, t_p^b$$

I – Intensidade de precipitação (mm/h);

t_p – duração da precipitação em minutos;

a *e* ***b*** – constantes que dependem do período de retorno e da duração da chuvada.

No presente estudo adotaram-se os valores das curvas IDF pertencentes ao posto udométrico de Viana dos Castelo (extraídos de BRANDÃO et al., 2001) por ter sido uma das estações estudadas por Brandão 2001 e ser uma das mais próximas da área de estudo. (Quadro 40).

Quadro 40: *Parâmetros a e b da curva IDF para Viana do Castelo e respetivas intensidades de precipitação, calculadas para Tc=17h13m (1032,99 minutos) na bacia do Ave e Tc= 5h10m (310,35 minutos), na bacia do Onda.*

Válida para as durações 6h < t < 48h				
Período de retorno (anos)	**(a)**	**(b)**	**Intensidade (mm/h)**	
			Ave (Tc = 1032,99min)	**Onda** (Tc = 310,35min)
2	325,76	-0,652	3,5	7,7
5	317,36	-0,616	4,4	9,3
10	320,05	-0,599	5,0	10,3
20	325,96	-0,586	5,6	11,3
50	336,65	-0,574	6,3	12,5
100	346,17	-0,566	6,8	13,5
500	371,29	-0,552	8,1	15,6
1000	383	-0,547	8,6	16,6

Avaliação dos caudais de ponta de cheia

a. Métodos empíricos não cinemáticos

Os métodos empíricos não cinemáticos são métodos de predeterminação de pontas de cheias com base em observações a partir de outras bacias hidrográficas; entram em linha de conta apenas com a área de drenagem total. Segundo Ramos (2009), podem especificar ou não períodos de retorno. Apresentam-se os métodos de Loureiro (1984) e Portela e Dias (2003) aplicados especificamente a Portugal Continental.

a.1. Método de Loureiro

Este método baseia-se na correlação entre valores de caudais máximos instantâneos anuais, determinados para 55 estações hidrométricas a partir da lei de Gumbel, com características físicas das próprias bacias, para diversos períodos de retorno (Loureiro, 1984). A fórmula de Loureiro permite transpor, para as bacias com características análogas, mas sem registos hidrométricos, a avaliação de um caudal de cheia com determinado período de retorno.

$Qp = CA^z$

Em que:

Qp – é o caudal de ponta de cheia em m^3/s;

C - é um parâmetro regional, relacionado com o período de retorno (Quadro 40);

Z – é um parâmetro regional, relacionado com as características físicas da bacia (Quadro 40);

A – é a área da bacia hidrográfica em km^2.

Quadro 41: *Valor de Z e Valor de C para os diferentes períodos de retorno (T) (Fonte: Loureiro, 1984).*

Parâmetros							
Zona	Parâmetro Z	Parâmetro C					
		Período de retorno (anos)					
		5	10	25	50	100	1000
1	0,807	2,85	3,72	4,53	5,27	6,1	8,57
2	0,694	5,44	6,97	8,58	9,67	10,98	15,63
3	0,510	24,93	30,5	39,14	43,49	49,5	64,83
4	0,489	11,68	16,79	19,19	22,31	26,2	38,52
5	0,784	3,45	4,4	5,4	6,24	7,09	9,88
6	0,738	3,39	4,28	5,54	6,44	7,4	10,68
7	0,816	1,66	2,09	2,58	2,98	3,37	4,75
8	0,745	2,38	3,06	3,68	4,12	4,94	7,27

Quadro 42: *Determinação das Zonas para a obtenção dos valores Z e C (Fonte: Loureiro, 1984).*

Zonas para parâmetros Z e C	
Zona	Área Incluídas
1	Bacias superiores do Cávado, do Tâmega e do Tua.
2	Bacia do Lima, bacia intermédia do Cávado, bacia superior do **Ave**, bacias inferiores do Tâmega e do Tua e bacia superior do Sabor.

3	Bacias inferiores do Cávado, **Ave**, Douro, Vouga e Mondego.
4	Bacia inferior do Sabor, margem esquerda da bacia do Douro a montante da confluência do Paiva, bacias superiores do Vouga e Mondego.
5	Ribeiros do Algarve, Baixo Guadiana e Alto Mira (não se devendo aplicar em áreas onde a isoieta seja superior 1000 mm e inferior o 500 mm).
6	Alto Sado, regiões superiores das bacias do Xarrama e Degebe e Baixo Mira.
7	Baixo Sado.
8	Bacia do Guadiana, entre as zonas 5 e 6.

Quadro 43: *Caudal de Ponta de Cheia segundo o método de Loureiro 1984, para as Bacias do Ave e do Onda.*

Qp - Caudal de Ponta de Cheia em m³/s							
Zona	**Área** (km²)	**Período de retorno (anos)**					
		5	**10**	**25**	**50**	**100**	**1000**
Bacia superior do Ave (2)	816,82	571,0	731,6	900,5	1014,9	1152,4	1640,5
Bacia inferior do Ave (3)	574,35	636,7	778,9	999,5	1110,6	1264,1	1655,6
Bacia do Onda (3)	47,16	177,9	217,7	279,3	310,4	353,3	462,7

a.2. Método de Portela e Dias

Este método, mais recente, considerou os caudais máximos instantâneos anuais de 120 estações hidrométricas e a proposta de regionalização obedece aos limites das bacias hidrográficas (Portela e Dias, 2003).

Neste método, são consideradas 6 regiões, em que as bacias hidrográficas dos Ave e Onda se enquadram na região litoral a norte do rio Tejo.

Após o cálculo da área da bacia hidrográfica e da identificação da região hidrográfica em que esta se insere, a metodologia de cálculo, que conduz à estimativa de caudais de ponta de cheia em secções não monitorizadas de Portugal continental, desenvolve-se em 3 fases:

1) Leitura, na curva regional de distribuição de frequências referente à anterior região, do valor da relação $Q_t/Q_{2,233}$ correspondente ao período de retorno, T, para o qual se pretende estimar o caudal de ponta de cheia, Q_t (Figura 24 e Quadro 44).
2) Leitura, na curva que, para a região, relaciona áreas de bacias hidrográficas com índices de cheias, do valor deste índice $Q_{2,33}$ (média dos caudais máximos instantâneos anuais), correspondente à área (A) obtida em i (Figura 25).
   $Q_{2,33}$=1,376 $A^{0,685}$ para a na região litoral a norte do rio Tejo (Quadro 45).
3) Obtenção do caudal de ponta de cheia pretendido, Q_t, por multiplicação dos valores de $Q_T/Q_{2,33}$ e de $Q_{2,33}$ respetivamente obtidos em 1) e 2) (Quadro 46).

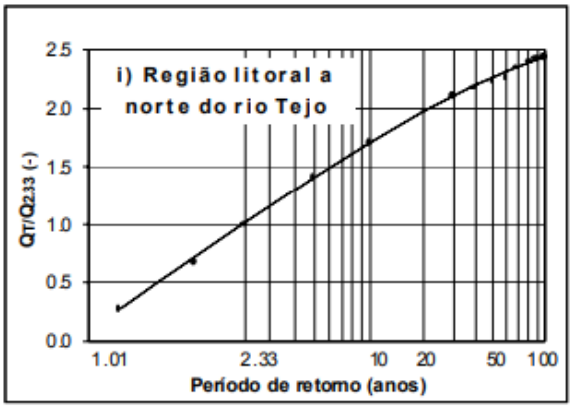


***Figura 24**:Curva regional de distribuição de frequências na região litoral a norte do rio Tejo (Portela e Dias, 2003).*

***Quadro 44:** Valor da relação, Qt/Q2.33 para as bacias do Ave e do Onda (adaptado de Portela e Dias, 2003).*

Valor da Relação $Qt/Q_{2,233}$					
Leitura	**Período de retorno (anos)**				
	5	**10**	**25**	**50**	**100**
$QT/Q_{2,33}$ (-)	1,40	1,71	2,06	2,28	2,50

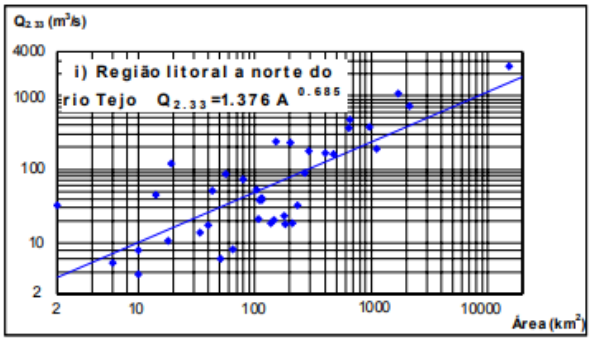


***Figura 25:** Relações entre a área de bacia hidrográfica e o índice de cheias, Q2.33 na região litoral a norte do rio Tejo (Portela e Dias, 2003).*

***Quadro 45:** Cálculo do índice de cheias, Q2.33 para as bacias do Ave e do Onda (adaptado de Portela e Dias, 2003).*

$Q_{2,33}$ - Índice de Cheias em m³/s		
Zona	**Área** (km²)	**$Q_{2,33}$**
Bacia do Ave	1391,16	195,81
Bacia do Onda	47,16	19,28

***Quadro 46:** Valor da Relação Qt/Q2,233 correspondente aos diferentes períodos de retorno, T considerados.*

Qt - Caudal de Ponta de Cheia em m³/s	
Zona	**Período de retorno (anos)**

	5	10	25	50	100
Bacia do Ave	274,13	334,83	403,37	446,44	489,52
Bacia do Onda	26,99	32,96	39,71	43,95	48,19

b. Métodos empíricos cinemáticos

Os métodos empíricos cinemáticos entram em linha de conta com o tempo de concentração e a chuvada crítica.

Para estimar os caudais de máxima cheia necessários aos cálculos que permitirão dar resposta ao objetivo do presente estudo utilizaram-se três métodos distintos:

- Turazza – Giandotti;
- Gete;
- Soil Conservation Service (SCS), adaptado por Correia (1984).

b.1. Método de Turazza – Giandotti

É um método muito utilizado na avaliação do caudal de ponta de cheia em Itália e também em Portugal, onde é consagrado no regulamento das pequenas Barragens.

Tem uma estrutura semelhante à fórmula racional, com a particularidade do coeficiente de escoamento ser determinado pela área da bacia.

$$Qp = \frac{\lambda . A . h}{tc}$$

Qp – é o caudal de ponta em m^3/s;

A – é a área da bacia em km^2;

λ – é um parâmetro em função de A (Quadro 47);

h – é a precipitação máxima em mm, correspondente ao tempo de concentração e a um determinado período de retorno estatístico,

tc – é o tempo de concentração da bacia em horas.

Quadro 47: *Parâmetro λ da fórmula de Giandotti para o cálculo do caudal de ponta de cheia.*

Área da bacia em km^2	λ
< 300	0,346
300 – 500	0,277
500 – 1000	0,197
1000 – 8000	0,100
8000 – 20 000	0,076
20 000 – 70 000	0,055

Segundo Ramos (2009), esta fórmula apresenta alguns problemas nos valores de λ para bacias com A<500 km^2 uma vez que os valores equivalentes aos da fórmula racional ultrapassam o valor de 1 (Quadro 47), o que não faz sentido. Por esse motivo, Quintela (1984) sugere que se utilize λ=0,224, para A<500 km^2, tendo sido o adotado no presente trabalho, para a bacia do rio Onda (Quadro 48).

***Quadro 48**:Caudal de ponta calculado pelo método de Turazza – Giandotti.*

Qp - Caudal de Ponta (m³/s)								
Zona	**Período de retorno (anos)**							
	2	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**	**500**	**1000**
Bacia do Ave	491	614	697	777	872	948	1120	1196
Bacia do Onda	82	98	109	119	132	142	165	175

b.2.Método de Gete

O método de Gete também é utilizado para determinar o caudal de ponta (Quadro 49).

$$Q = (4 + 16 \log T) \cdot \sqrt{A}$$

em que:

Q = Caudal em m³/s,

T = Período de retorno em anos,

A = área da bacia hidrográfica em km².

***Quadro 49:** Caudal de ponta calculado pelo método de Gete.*

Q - Caudal de Ponta (m³/s)									
Zona	**Área** (km²)	**Período de retorno (anos)**							
		2	**5**	**10**	**20**	**50**	**100**	**500**	**1000**
Bacia do Ave	1391,16	329	566	746	926	1163	1343	1760	1940
Bacia do Onda	47,16	61	104	137	170	214	247	324	357

b.3. Método do Soil Conservation Service

A formulação proposta pelo *Soil Conservation Service*, dos E.U.A., consiste da seguinte expressão:

$$Q_p = 0{,}277 \times k \times A \times h_u / t_p$$

em que:

Q_p = Caudal de ponta em m³/s,

K = é um fator de ponta, que para bacias medianamente declivosas pode tomar o valor 0,75,

A = é a área da bacia, em km²

hu = é o valor da altura útil de precipitação em mm,

tp = é o tempo para ponta, em horas.

Para o cálculo dos caudais torna-se necessário determinar a altura útil de precipitação (**hu**), a partir da precipitação total (produto do tempo de concentração pela intensidade de precipitação).

Para uma dada precipitação total, **h**, a altura útil é dada por:

$$h_u = \frac{(h - h_o)^2}{h + 4h_0}$$

em que:

ho = indica as perdas iniciais da chuvada,

h = Precipitação total (produto do tempo de concentração pela intensidade de precipitação).

O S.C.S. sugere para o seu cálculo:

$$Ho = 5080 / N - 50{,}8$$

em que:

N = é o número de escoamento que, no caso presente e de acordo com os cálculos efetuados anteriormente no ponto "Número de Escoamento", toma o valor de 71,0 na Bacia do Ave e 78,3 na Bacia do Onda, valores que correspondem a condições médias de humedecimento do solo.

Temos assim:

Quadro 50: *Perdas iniciais da chuvada calculados para a Bacia do Ave e do Onda.*

Bacia Hidrográfica	N.º Escoamento (N)	Perdas Iniciais da Chuvada (Ho)
Ave	71,0	20,8 mm
Onda	78,3	14,1 mm

O tempo de crescimento até à ponta é dado por:

$$t_p = \frac{1}{2} . \ t_r + 0{,}6 \ . t_c$$

A duração da chuvada t_r é calculada por subtração da duração total do tempo necessário para choverem as perdas iniciais:

$$t_r = t_c - Ho / I$$

Quadro 51: *Caudal de ponta (American Soil Conservation Service) calculado para as Bacias do Ave e Onda.*

Tr - Tempo de retorno (anos)	h_u (mm)		t_r (h)		t_p (h)		Q_p - Caudal de Ponta (m^3/s)	
	Ave	**Onda**	**Ave**	**Onda**	**Ave**	**Onda**	**Ave**	**Onda**
2	11,10	6,94	11,32	3,35	15,99	4,78	**200,6**	**14,2**
5	19,14	10,94	12,51	3,65	16,58	4,93	**333,7**	**21,7**
10	25,28	13,96	13,06	3,80	16,86	5,00	**433,3**	**27,3**
20	31,65	17,10	13,49	3,92	17,08	5,07	**535,6**	**33,1**
50	39,71	21,09	13,90	4,04	17,28	5,13	**664,1**	**40,3**
100	46,44	24,43	14,16	4,12	17,41	5,17	**770,9**	**46,3**
500	62,60	32,48	14,63	4,27	17,65	5,24	**1025,3**	**60,7**
1000	70,04	36,19	14,80	4,32	17,73	5,26	**1141,7**	**67,3**

c. Síntese dos resultados para o caudal de ponta nas bacias dos rios Ave e Onda

Nos dois pontos anteriores recorreu-se à análise do caudal de ponta de cheia com recurso a métodos empíricos cinemáticos e não cinemáticos. Estes métodos permitem-nos ter uma noção geral da ordem de grandeza dos valores de caudal de ponta esperados para bacias hidrográficas com características semelhantes.

Os caudais de ponta encontrados para as bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda são os que se encontram no Quadro 52.

Quadro 52: *Caudais de ponta de cheia (m3/s) para as bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda, obtidos a partir de métodos empíricos, para diferentes períodos de retorno.*

Qp - Caudal de Ponta (m^3/s)										
Período de Retorno (anos)	**Loureio**		**Portela e Dias**		**Turazza - Giandotti**		**Gete**		**SCS - *Soil Conservation Service***	
	Ave	**Onda**	**Ave**	**Onda**	**Ave**	**Onda**	**Ave**	**Onda**	**Ave**	**Onda**
5	1207,6	177,9	274,1	27,0	614,1	97,8	566,3	104,3	**333,7**	**21,7**
10	1510,4	217,7	334,8	33,0	696,9	108,7	746,0	137,3	**433,3**	**27,3**
50	2125,6	310,4	446,4	43,9	871,9	132,0	1163,1	214,1	**664,1**	**40,3**
100	2416,5	353,3	489,5	48,2	947,7	142,1	1342,7	247,2	**770,9**	**46,3**

Apresentam-se de modo comparativo, os resultados dos diferentes métodos empíricos anteriormente descritos. Os resultados revelam uma grande amplitude de variação entre os diferentes métodos.

Os métodos empíricos não cinemáticos são de aplicação mais simples, consideram apenas os parâmetros geométricos da bacia hidrográfica. O método de Loureiro é o método que se afasta mais dos outros métodos, com valores de caudal relativamente elevados. O método de Portela e Dias aproxima-se dos métodos empíricos cinemáticos.

0s métodos empíricos cinemáticos têm a vantagem de permitir o recurso à utilização de características biofísicas da bacia, como o número de escoamento (CN) e o coeficiente de escoamento superficial (C). O método SCS, que entra em linha de conta com as condições de ocupação do solo (C e CN), apresenta valores mais consentâneos com o que deverá ser a realidade.

Os métodos de Turazza – Giandotti e Gete são os métodos que apresentam menor amplitude entre eles, com cerca de 50 m³/s e são também os que apresentam valores de caudal de ponta mais próximos da média de todos os métodos adotados.

A nítida heterogeneidade dos resultados pode dever-se, sobretudo, ao peso que as diferentes variáveis apresentam, como o relevo, ocupação do solo, coberto vegetal, geologia, ocupação humana, etc.

Dos vários métodos de determinação do caudal cheia optou-se pelo SCS, por ser o único que entra em linha de conta direto com a ocupação do solo (CN) nas bacias, permitindo obter caudais de ponta perfeitamente adaptados aos territórios em análise.

3.4. As cheias nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda

Em Portugal, as cheias foram a catástrofe natural mais mortífera do século XX (Ramos e Reis, 2001).

As bacias hidrográficas situadas na zona noroeste de Portugal são frequentemente atingidas por episódios de cheia. Neste contexto, destaca-se a bacia hidrográfica do rio de Ave, com vasto historial de ocorrências de cheias, o que constituiu, em grande parte, a motivação para a realização deste trabalho.

3.4.1. Conceitos gerais sobre cheias

Chow (1956) defendia que as cheias são um fenómeno hidrológico extremo, de frequência variável, natural ou induzido pela ação humana, que consiste no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundação dos terrenos ribeirinhos. As inundações, por sua vez, são um fenómeno igualmente hidrológico, de frequência variável, natural ou induzido pela ação humana, que consiste na submersão de uma área usualmente imersa, o que pode ser consequência direta das cheias ou de outros fenómenos extremos. Deste modo, todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações são provocadas pelas cheias.

As cheias são fenómenos hidrológicos temporários, enquanto as inundações (na sua maioria temporárias) podem ser definitivas (à escala de vida humana), como é o caso, por exemplo, da subida eustática do nível do mar, devido ao aquecimento global que está a submergir terrenos costeiros (Ramos, 2009).

Existem 4 tipos de inundações em função das suas causas: inundação fluvial, inundação de depressão topográfica, inundação costeira e inundação urbana (Ramos, 2009). O presente estudo apenas se debruçou em inundações devido

a cheias (inundações fluviais), ou seja, aquelas que ocorrem devido ao transbordo de um curso de água. Estas, por sua vez, podem ser divididas 9 tipos de inundações (Quadro 53).

Quadro 53: *Tipos de inundações devidas a cheias (Ramos, 2009)*

Tipos	Causa	Factor desencadeante
Cheia lenta (pluvial)	Climática	Chuvas prolongadas
Cheia rápida (pluvial)	Climática	Chuva intensa
Cheia de fusão da neve	Climática	Subida da temperatura na primavera
Cheia de efeito combinado (fusão + chuva)	Climática	Subida da temperatura + chuva intensa
Cheia de fusão do gelo	Geológica	Erupções vulcânicas
Cheia costeira	Climática e marinha	Escoamento fluvial elevado + efeito das marés ou escoamento fluvial elevado + efeito das marés + *storm surge*
Cheia de obstáculo	Geomorfológica	Movimento de vertente de obstrução ao escoamento fluvial
Cheia de derrocada natural	Hidrogeomorfológica	Cedência de obstáculo natural
Cheia de derrocada artificial	Antrópica	Ruptura de barragem

À escala continental, as causas das cheias dependem sobretudo das zonas ou das regiões climáticas onde as bacias hidrográficas se inserem, ou seja, das características do clima.

Nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda as inundações são devidas a cheias pluviais, as quais podem ser lentas ou rápidas (Quadro 53). As cheias lentas devem-se a precipitações acumuladas com duração de dias, semanas e até meses; estas são características de grandes bacias hidrográficas à escala Ibérica. Por sua vez, as cheias rápidas são devidas a precipitações intensas, que ocorrem em apenas algumas horas ou minutos, sendo características de pequenas e médias bacias hidrográficas (Ramos e Reis, 2001), tal como as bacias em estudo. As cheias rápidas são as mais perigosas porque ocorrem subitamente, apanhando as populações de surpresa (Ramos, 2009).

3.4.2. O histórico das cheias nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda

O registo histórico de ocorrências de cheias e inundações em Vila do Conde remete-nos para 1852, onde Adolfo Loureiro na sua obra "Os Portos Marítimos de Portugal e Ilhas Adjacentes", refere que a "impetuosidade da corrente rompera a barra pelo S. dos Dois Irmãos", deixando um "estreito canal ao N".
Da análise aos documentos verifica-se o número de eventos/ocorrências do aumento do caudal do Rio Ave desde o ano de 1821:

“No ano de 1821 uma enorme cheia derrubou a primeira ponte que Vila do Conde teve mandada construir por provisão régia de 1792 e lançada a primeira pedra no ano imediato. Era uma ponte de traça majestosa, edificada em alvenaria lavrada, com três arcos e dois obeliscos de granito”.

Em 1909 registou-se também uma importante cheia que ficou bem gravada na memória dos Vilacondenses que a presenciaram (Boletim Cultural de Vila do Conde - n.º 4 - 1963).

A 31 de Março de 1962 o rio Ave voltou a transbordar: "... *começou a engrossar subitamente o volume da sua corrente, denunciando flagrantemente prenúncios de cheia iminente"... De manhã, toda a nossa zona ribeirinha,*

acordou envolvida numa paisagem aquática de confrangedora extensão... Durante o dia 1 de abril os vilacondenses acorreram à plataforma de Socorro e ao monte do Mosteiro, para presenciarem o espetáculo da cheia ao mesmo tempo inquietante e grandioso. Devido ao volume e à força da corrente, algumas motoras, que estacionavam no Ave, foram arrastadas para as avenidas que marginam a Praça da República e o Largo da Alfândega...".



Foto 1: *Cheia de 1962*

No boletim cultural de Vila do Conde, do ano de 1963, relata que "*a 31 de março e 1 de abril de 1962, o Rio Ave registou, segundo o testemunho das pessoas mais idosas, a maior cheia do século. As águas estenderam-se por toda a zona ribeirinha de Vila do Conde e quase atingiram a parte inferior da estrutura metálica da ponte do Ave*".



Figura 26: *Registo fotográfico da cheia de 1962 na Praça da República*



Figura 27: *Registo fotográfico das cheias de 31 de março a 1 de abril de 1962 (Praça da República)*



Figura 28: *Cheias no Cais das Lavandeiras*

Em fevereiro de 1966 o Ave voltaria a inundar Vila do Conde: *"as águas do Ave "invadiram" os campos marginais das nossas freguesias de Touguinhó, Touguinha e Formariz, impedindo o trânsito na estrada que desta Vila leva à Junqueira, no lugar das Calçadas"*(*in* Renovação, Ano XXIX, 19 de fevereiro de 1966 - n.º 1274).

Mais recentemente, em 2011, o registo de cheias foi vivido em algumas freguesias:

"… a população local foi surpreendida pela invasão das águas em escolas, habitações, caves, garagens e armazéns" e, em alguns pontos do município, a situação "foi mesmo caótica". A água chegou a atingir "mais de 30 centímetros de altura", depois de "os rios e ribeiros do município galgarem as margens" e invadirem zonas residenciais e estradas, frisou. As situações mais críticas foram vividas nas freguesias de Labruge, Modivas, Junqueira, Mindelo e Árvore, onde há casos de "derrocada de muros, desvio dos cursos dos rios e ribeiros e desabamento de caminhos…"



Figura 29: *Estragos das últimas cheias*

Fonte: https://expresso.pt/actualidade/vila-do-conde-cheias-provocam-caos-fotogaleria=f683873#gs.0u6f96

Mais recentemente em Fevereiro de 2016:

"O rio Ave subiu, transbordou as margens e obrigou ao corte do trânsito na Rua das Calçadas, que liga Vila do Conde à freguesia de Touguinha, inundando várias casas nas redondezas, os novos armazéns da Câmara Municipal de Vila do Conde e as instalações da fábrica da Fricon.

Devido às cheias do rio Ave, algumas garagens e habitações ficaram ainda inundadas junto ao Agrupamento de Escolas D. Afonso Sanches de Vila do Conde.

A Rua das Calçadas, em Touguinha, ficou completamente submersa ao longo de mais de 500 metros, em muitos dos locais com cerca de meio metro de água, não permitindo o acesso aos armazéns da Câmara de Vila do Conde, às instalações da empresa Fricon e ao Centro de Apoio e Reabilitação para Pessoas com Deficiência da Santa Casa da Misericórdia de Vila do Conde.

Em Touguinhó, devido às cheias do rio Ave, o rio Este também transbordou e inundou habitações. Em Vila do Conde, o Serviço Municipal de Protecção Civil já tomou medidas e cortou as estradas onde continua a haver perigo eminente de cheias e isolou os locais onde costumam ou possam ocorrer inundações." (fonte: http://jornal-renovacao.pt/2016/02/cheias-do-rio-ave-provocam-varias-inundacoes/#prettyPhoto[pp_gallery]/15/)



Foto 2: *Inundação da rua das Calçadas*



Foto 3: *Localidade de Touguinha*

O registo de cheias e inundações da ANPC para o concelho de Vila do Conde, demonstra que a Avenida Dr. Carlos Pinto Ferreira, a Rua 5 de outubro, a Praça da República são os locais nos quais se verificam mais registos.

Relativamente ao número de registos verificados por ano, nos anos de 2015 e 2017 não houve nenhum registo, enquanto que o ano de 2011 foi o ano em que houve mais registos de inundações e o ano de 2014 com apenas um registo.

Quadro 54: *Registo de cheias e inundações pela ANPC*

Rua	N.º Ocorrências										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2018
EN-13	1										
AV. JOÃO CANAVARRO	2				1	1					
DOCA DE VILA CONDE	1										
DOCA DO RIO AVE	1										
AVª. DR. CARLOS PINTO FERREIRA	4	3	1	2	1	4	1				
AV. CIDADE GUIMARÃES	3	1		1	1						
AV. BRASIL	1										
R. PADRE PORFIRIO ALVES	1	1									
CENTRO COMERCIAL ALAMEDAS	1										
AV. DR CARLOS PEREIRA	1										
R. DOS GOIVOS	1										
RUA CASAL MONTE	1										
AV. SACADURA CABRAL	1	1			1						
RUA JOÃO CARNEIRO MORAIS		1									
R. 5 OUTUBRO		1		1	2	1					1
RUA APARICIO BARROS		1									
RUA NARCISO FERREIRA		1									

RUA B		1									
RUA DAS TULIPAS		1			1						
RUA ANTONIO GONÇALVES POUSADO		1									
RUA PESCADOR BACALHOEIRO		1									
TRAVESSA NOSSA SENHORA DAS CANDEIAS		1									
R. D. DINIS		1				2					
R. FAROL		1									1
R. LEME		1									
R. D. ANT. MARTINS JUNIOR		1			1	3					
bº Pescadores		1									
AV DR PINTO CORREIA		1									
AV BRASIL		1									
AV ABADE SOUSA MAIA		1									
RUA CAPITÃO CARLOS FONSECA		1									
AV. BENARDINO MACHADO		1									
R. OPERARIOS		1									
rua sao braz		1									
AV DR CARLOS PINTO CORREIA		2									
R. BARTOLOMEU DIAS		1									
AVENIDA JÚLIO SAÚL DIAS			1			1					
AVª GENERAL HUMBERTO DELGADO			1								1
AVª. SACADURA CABRAL			1	2	1						
RUA MAR TERRA NOVA			1								
R. Sº FRANCISCO			1								
AV. ABRIL				1							
ESTALEIROS SAMUEL E FILHOS				1							
AV. Dº MANUEL I				1		1					
RUA AGRA LONGA				1		1					
PRAÇA DA REPUBLICA		1		1	2	3		1			
ALAMEDA DOS DESCOBRIMENTOS				1		1					
PRAÇA D.JOÃO II				1							
AV.JULIO GRAÇA				2		2		1			
PRAÇA JOSÉ RÉGIO				1	2						

TRAVESSA BERNARDINO MACHADO				1							
R.MECA				1							
RUA DA				1							
AVª BENTO FREITAS				1		1					
R ALFREDO BASTOS					1						
RUA D.PEDRO IV					1						
RUA ALTO PEGA					1						
RUA NOSSA SRA AO LEME					1						
AV. FERROL					1	1					
AV INFANTE D. HENRIQUE					2	2		1			
RUA COMENDADOR ANTONIO FERNANDES DA COSTA					1	1					
RUA JOSE RIBEIRO GAIO					1	1					
RUA DAS DONAS					1						
RUA DR.ARMANDO TAIPA					1						
RUA ANTÓNIO FONSECA LAPA					1						
R. Nº 33					1						
RUA DA IGREJA					1						
R. CONDE					1						
AV. FERNAO MAGALHAES					1						
R. GIRASSOL					1						
ZONA INDUSTRIAL VARZIELA					1						
AVª. BALTAZAR DO COUTO						1					
TRAVESSA D MANUEL I						1					
R. INDEPENDENCIA DA GUINE						1					
RUA DOS MARIENTES						1					
AV. MARQUES SÁ BANDEIRA						1					
AUDITÓRIO MUNICIPAL VILA CONDE						1					
BIBLIOTECA MUNICIPAL						1					
TRIBUNAL						1					

PRAÇA LUÍS DE CAMÕES						2					
RUA CIDADE DE AVEIRO						1					
RUA DR ANTÓNIO RAMOS DE ALMEIDA						1					
RUA DR ANTÓNIO JOSÉ SOUSA PEREIRA						1					
RUA DA ALEGRIA						3					
RUA 25 DE ABRIL						1					
RUA DA LAPA						1					
RUA CORDOEIRO						1					
RUA D.MANUEL I						1					
RUA D.JOÃO I						1					
AV. ALEXANDRE HERCULANO						1					
TV MANUEL GONÇALVES CASCÃO						1					
RUA ANIBAL P. FERREIRA						1					
Rua da Costa							1				
Rua António Ferreira Cova							1				
RUA PE. P. ALVES							1	1			
RUA CIRCULO CATOLICO								1			
R. DR. ANTONIO ANDRADE								1			1
RUA ALMEIDA GARRETT								1			
Av.Castelo								1			
r. pimenta								1			
R S.BARTOLOMEU								1			
R. MUNIQUE								1			
RUA DOS BEM GUIADOS									1		
Av. Benardino Machado										3	
MARINA DE VILA DO CONDE										3	
Rua Aristides de Sousa Mendes											1
Totais	**19**	**31**	**6**	**20**	**31**	**50**	**4**	**11**	**1**	**6**	**5**

4. Capítulo III: Modelação da suscetibilidade e modelação hidráulica de cheias

No campo da simulação e modelação recorreu-se a alguns programas informáticos, como: ArcGis, Hec-GeoRas e HEC-RAS.

O modelo de avaliação da suscetibilidade é importante como complemento à informação de registos de cheias, pois permite determinar quais os cursos de água mais afetados em situação de cheia; a modelação hidráulica, por sua vez, permite obter a extensão da área inundável, a profundidade da coluna de água e a velocidade de escoamento.

No primeiro ponto recorreu-se ao modelo de suscetibilidade proposto por Reis (2011) baseado em três variáveis condicionantes das cheias, sistematizado no respetivo modelo conceptual (Figura 30).

Para o segundo ponto, recorreu-se a modelação hidráulica com base em dados hidráulicos e hidrológicos. Os caudais de ponta de cheia obtidos pelo método do SCS são utilizados para a delimitação de áreas suscetíveis de serem inundadas, para diferentes períodos, com base no software HEC-RAS.

4.1. Avaliação da suscetibilidade à ocorrência de cheias

4.1.1 Metodologia para avaliação da suscetibilidade

O modelo de suscetibilidade de cheias utilizado neste estudo segue a metodologia proposta por Reis (2011) para a identificação das áreas suscetíveis à ocorrência de cheias e inundações. A metodologia proposta para identificação da suscetibilidade à ocorrência de cheias nas bacias hidrográficas segue um fluxo de trabalho baseado nas seguintes etapas principais (Figura 30):

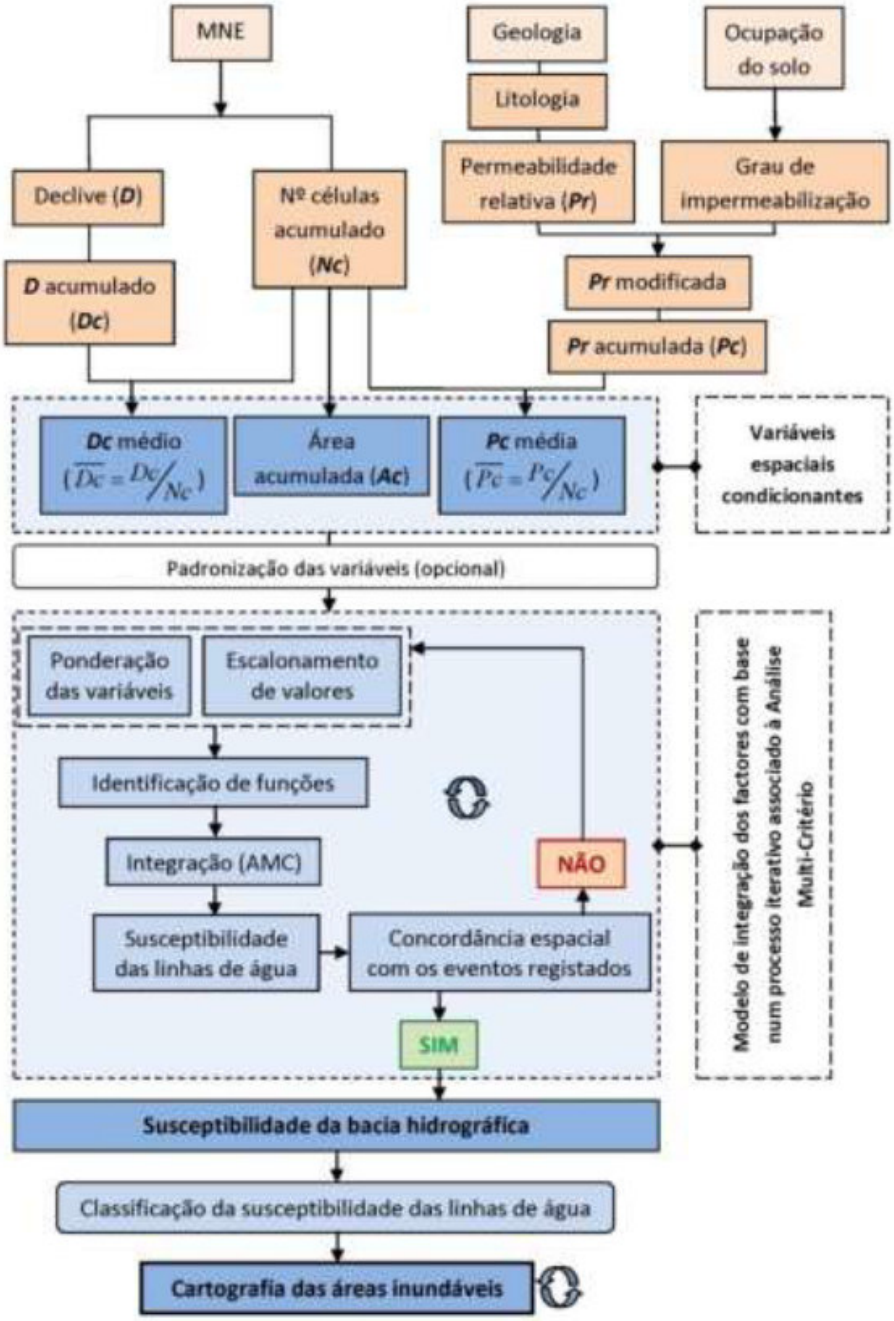


Figura 30: *Modelo conceptual para avaliação da suscetibilidade à ocorrência de cheias (adaptado de Reis, 2011).*

O modelo baseia-se na seleção e integração das variáveis condicionantes relevantes para a identificação da suscetibilidade: a área acumulada, o declive e a permeabilidade da bacia hidrográfica. Estas variáveis devem, no modelo utilizado, refletir as condições da área de drenagem para montante de cada célula (unidade de terreno) e não os valores do terreno correspondentes a cada célula; estes parâmetros obtêm-se através do cálculo dos valores acumulados médios. Como o modelo conceptual indica, as variáveis a serem integradas são a área acumulada, o declive médio e a permeabilidade média. Estas variáveis foram determinadas com base no modelo numérico de elevação (MNE), na geologia e na ocupação do solo, tratadas previamente na primeira parte deste trabalho.

A área de acumulação corresponde à área de drenagem da bacia, ou seja, ao número de células que drenam para um determinado ponto da bacia hidrográfica, e fornece uma indicação do volume potencial de água em cada célula, com

maior concentração nos fundos de vale. O declive médio representa a velocidade de escoamento em cada célula e a permeabilidade (composta) média indica-nos quais as células que contribuem para o escoamento superficial e aquelas que retêm a água na bacia.

Uma vez selecionadas as variáveis condicionantes para a bacia hidrográfica, procedeu-se ao cálculo de cada uma delas. A partir do MNE determinou-se o declive e a direção dos fluxos que nos indica o sentido de escoamento a partir de cada célula da matriz; esta última, por sua vez, permite determinar as áreas com maior fluxo de acumulação de águas. Como será de esperar, os valores mais elevados localizam-se nos fundos de vale, para onde convergem os diversos sentidos de escoamento.

O declive médio obtém-se com base na variável declive, ao qual é importante definir a direção dos fluxos com vista a obtenção de valores acumulados de forma a refletir as condições a montante de cada célula e não apenas o seu valor absoluto. Uma vez determinado o declive acumulado, entra-se em linha de conta com a variável acumulação de fluxos (área de acumulação de fluxos) de forma a obter-se o declive médio (Figura 31).

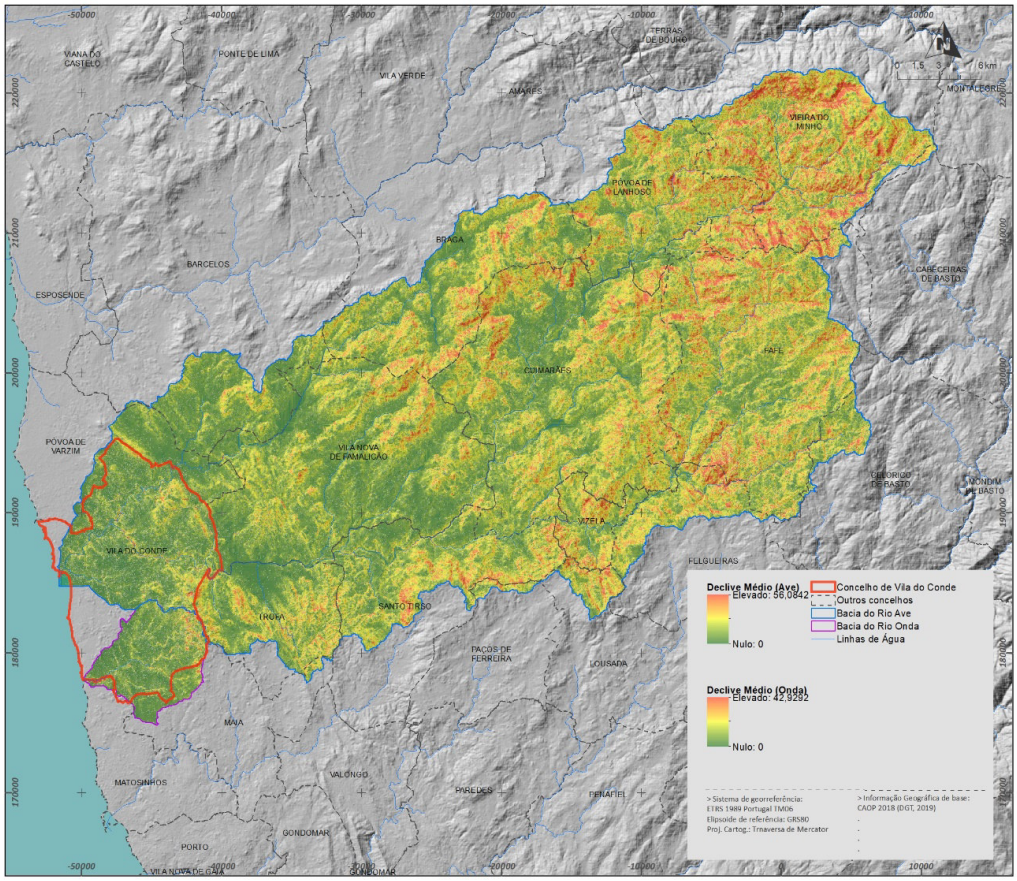


Figura 31: *Declive médio nas bacias dos rios Ave e Onda.*

A permeabilidade média entra em linha de conta com o mapa da geologia de onde se obtém a litologia e o mapa da ocupação do solo. Deste modo, do mapa da geologia obteve-se o mapa litológico determinado anteriormente na primeira parte do trabalho, à qual foi atribuída ponderações, numa gama de valores de 0 a 10, de acordo com a permeabilidade de cada material diferenciado, ou seja, aos materiais mais permeáveis foi dado um valor mais elevado, enquanto aos impermeáveis foi dado um valor mais baixo (Quadro 55 e 56 e Figura 32).

Quadro 55: *Permeabilidades relativas atribuídas às classes de geologia na Bacia do rio Ave, com base na classificação proposta em Ramos (2010).*

Código	Formações geológicas	Permeabilidade relativa (0-10)
Bacia hidrográfica do rio Ave		
a	Aluviões atuais	9
A	Areias e cascalheiras de praias e de rio	10
a1	Depósitos de solifluxão e vertente (Depósitos de cascalho/blocos e seixos angulosos)	9
Ad	Areias de duna	10
b	Rochas básicas	4
Da1	Grês mecáceos, por vezes quartziticos, com restos de peixes, etc.	3
Db1	Xistos argilosos, amarelos, fossiliferos	2
Hb2	Conglomerados, arcoses, xistos com vegetais, etc.	2
Ob	Conglomerados intercalados	3
Ocd	Xistos argilosos, ardosiferos, com fosseis	2
Oe	Xistos e grauvaques.	3
P''	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (100-110m)	9
q	Filões de quartzo	3
Q	Terraços fluviais	10
Q3	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (30-40m)	9
Qa2	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (60-70m)	9
Qa4	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (15-20m)	9
Qb	Quartzitos com Bilobites (Cruziana)	2
Qb1	Xistos argilosos, amarelos, fossiliferos	2
Qb2	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (45-50m)	9
Qb4	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (5-8m)	9
Qp	Formação areno-pelitica de cobertura	6
r	Filões e massas de pórfiro granitico	3
S	Metassedimentos recristalizados, Corneanas	5
S1	Xistos e metagrauvaques com raros níveis de metaquartzitos, Corneanas	3
Sa	Xistos e grauvaques.	3
Suv	Tufos volcânicos intermédios a básicos skarnificados (anfibolitos)	4
u	Pórfiros	4
UV	Quartzofilitos (Unidade de Vila Nune)	3
Xc	Conglomerados intercalados	5
Xyz	Complexo xisto-granito-migmatitico	3
Xz	Xistos e grauvaques, mais ou menos metamorfizados	3
y'f	Granito de grão fino de duas micas	4
y'f1	Granitos de grão fino e fino a médio de duas micas, com predomínio de moscovite	4
y'g1	Granito de grão grosseiro	4
y'm	Granitos de grão médio e de grão médio a grosseiro	4
y'm1	Granito de grão médio de duas micas, com predomínio de moscovite	4
y'm2	Granitos hololeucocratas ortosi-albíticos de grão médio (Granitos de Lustosa e Regilde)	4
ya	Filões e massas aplíticas e/ou pegmatíticas	3

yf	Leucogranito moscovítico-biotítico, de grão fino (Granito de Briteiros)	3
yf	Monzogranito de grão fino, de duas micas, com predomínio de biotite (Granitos de Fafe e Sendim)	4
Yf	Granito de grão fino	4
yfr	Monzogranito de duas micas, com tendência porfiróide, de grão fino (Granito de Gonça)	4
Yg	Granito porfiróide (Granito de Santo André)	4
Ym	Granito de grão médio ou grosseiro (Granito da Póvoa de Varzim)	4
ym1	Monzogranitos de grão médio de tendência porfiróide, de duas micas, com o predomínio de biotite (Granitos de Airão, Aves e Roriz)	3
ym2	Monzogranito de grão médio de tendência porfiróide, de duas micas, por vezes com sulforetos dessiminados (Granito de Eiriz)	3
ymfr	Monzogranito biotítico, com rara moscovite, tendência porfiróide, de grão médio a fino (Granito de Braga)	3
Yp	Filões e massas pegmatiticos	3
Yr''m	Granito de grão médio ou grosseiro (Granito de Gondifelos e Granito de Pousa)	4
Yr'f	Granito não porfiróide, de grão fino	4
yrg	Granito porfiróide, de grão grosseiro	4
yrg	Monzogranito biotítico, com rara moscovite, porfiróide, de grão grosseiro (Granitos de Celeirós e Vieira do Minho). Fáceis de bordadura, porfiróide de grão médio	3
yrm	Monzogranitos porfiróides, de grão médio	3
Yv	Granodiorito de grão médio ou médio a fino, frequentemente porfiróide	4
yv1	Granodiorito - monzogranito, biotítico, porfiróide, de grão médio, orientado, com grandes megacristais de feldspato potássico (Granito de Sameiro)	4
yv1	Granodiorito porfiróide, orientado, biotítico, com grandes megacristais de feldspato potássico (Granodiorito de Felgueiras)	4
yv2	Granodioritos e quartzomonzodioritos, de grão fino a médio (Granodioritos de Figueiredo)	4
yv2	Granodioritosde grão fino a muito fino (Granodioritos de Ronfe, Aves e Souzelas)	4
yv3	Granodioritos, quartzomonzodioritos e monzodioritos, de grão fino e médio. Gabronoritos de grão médio	4
yv3	Vaugneritos de Sapielos, Antime e Silvares e quatzonoritos de Valbom (Silvares)	3
yv4	Granodiorito de grão médio de tendência porfiróide (Granodiorito de Guimarei)	4

Quadro 56: *Permeabilidades relativas atribuídas às classes de geologia na Bacia do rio Onda, com base na classificação proposta em Ramos (2010).0.*

Código	**Formações geológicas**	**Permeabilidade relativa (0-10)**
Bacia hidrográfica do rio Onda		
r	Filões e massas de pórfiro granítico	3
Ym	Granito de grão médio ou grosseiro (Granito da Póvoa de Varzim)	4
Ad	Areias de duna	10
A	Areias e cascalheiras de praias e de rio	10
Q	Terraços fluviais	9
Qp	Formação areno-pelítica de cobertura	7

Xz	Xistos e grauvaques, mais ou menos metamorfizados	3
Qa4	Depósitos de praias antigas e de terraços fluviais (15-20m)	9
Op	Formação areno-pelítica de cobertura	7

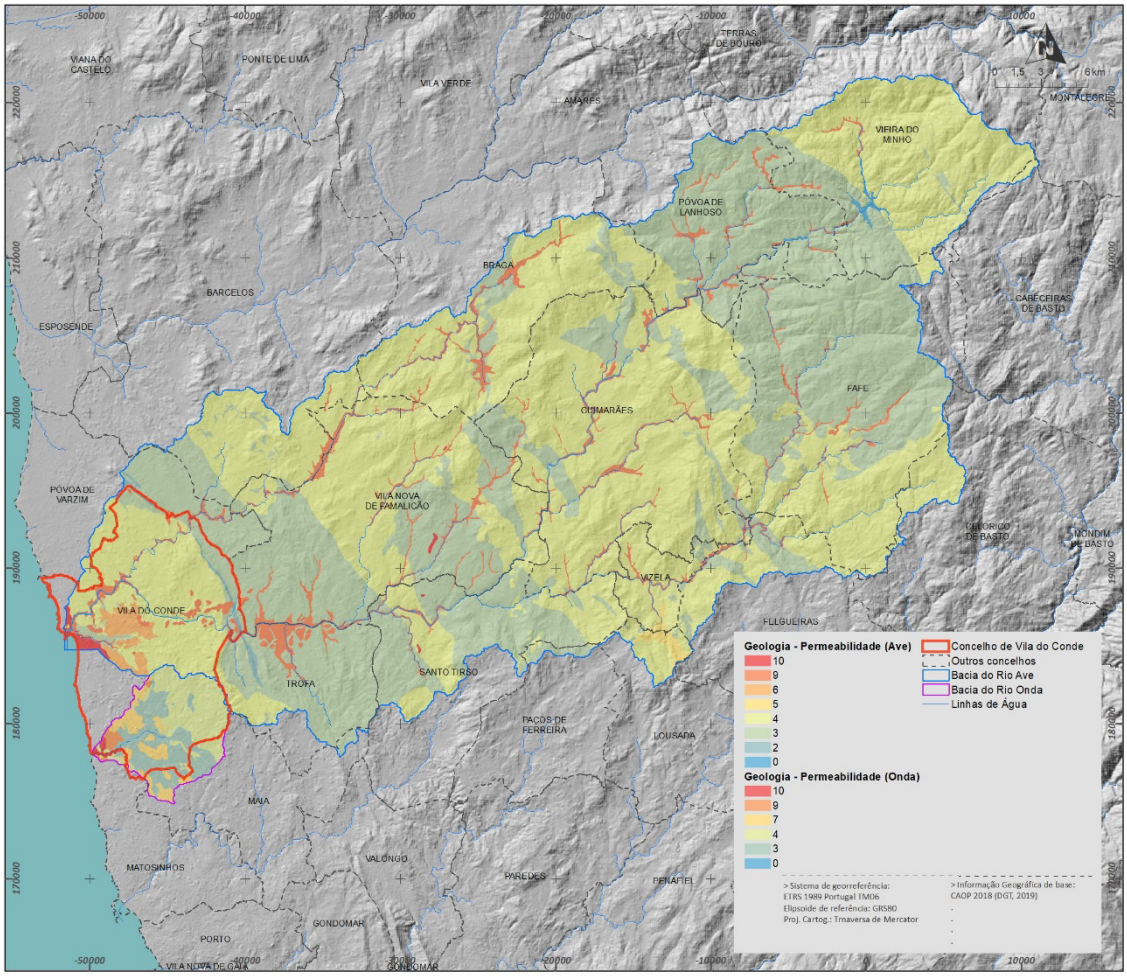


Figura 32: *Permeabilidade relativa nas bacias dos rios Ave e Onda.*

Assim, obteve-se o mapa de permeabilidade relativa. O mapa de permeabilidade final ou composta foi efetuado através do cruzamento deste mapa com o mapa da ocupação do solo.

Para quantificar a influência do uso e ocupação do solo na capacidade de infiltração da água, recorreu-se à Carta de Uso e Ocupação do Solo mais recente (COS de 2015), disponibilizada pela DGT.

Às classes agrupadas foi atribuído um grau de infiltração, numa escala de 0 a 1, em resultado de uma ponderação sobre a influência média de cada classe na infiltração da água no solo, a partir das classificações do *Soil Conservation Service* e da *American Society of Civil Engineers* (Ramos, 2009) (Quadros 57 e 58 e Figura 33).

***Quadro 57**: Grau de infiltração na bacia do rio Ave, tendo por base a Carta de Ocupação do Solos (COS 2015).*

Código Classe (N.5)	Classe de Ocupação do Solo (Nível 5)	Grau de Infiltração (0- 1)
Bacia hidrográfica do rio Ave		
1.1.1.00.0	Tecido urbano contínuo	0,1
1.1.2.00.0	Tecido urbano descontínuo	0,2
1.2.1.00.0	Indústria, comércio e equipamentos gerais	0,2
1.2.2.00.0	Rede viária e espaços associados	0,2
1.2.4.00.0	Aeroportos e aeródromos	0,2
1.3.1.00.0	Áreas de extração de inertes	0,1
1.3.2.00.0	Áreas de deposição de resíduos	0,2
1.3.3.00.0	Áreas em construção	0,4
1.4.1.00.0	Espaços verdes urbanos	0,7
1.4.2.01.1	Campos de golfe	0,7
1.4.2.02.0	Outras Instalações desportivas e equipamentos de lazer	0,2
1.4.2.03.0	Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas	0,2
2.1.0.00.0	Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	0,5
2.2.1.00.0	Vinhas	0,5
2.2.2.00.0	Pomares	0,5
2.2.3.00.0	Olivais	0,5
2.3.1.01.1	Pastagens permanentes	0,6
2.4.1.00.0	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	0,5
2.4.2.01.1	Sistemas culturais e parcelares complexos	0,5
2.4.3.01.1	Agricultura com espaços naturais e seminaturais	0,5
2.4.4.00.3	SAF de outros carvalhos	0,5
2.4.4.00.4	SAF de pinheiro manso	0,5
3.1.1.00.1	Florestas de sobreiro	0,6
3.1.1.00.3	Florestas de outros carvalhos	0,6
3.1.1.00.4	Florestas de castanheiro	0,6
3.1.1.00.5	Florestas de eucalipto	0,6
3.1.1.00.6	Florestas de espécies invasoras	0,6
3.1.1.00.7	Florestas de outras folhosas	0,6
3.1.2.00.1	Florestas de pinheiro bravo	0,6
3.1.2.00.2	Florestas de pinheiro manso	0,6
3.1.2.00.3	Florestas de outras resinosas	0,6
3.2.1.01.1	Vegetação herbácea natural	0,7
3.2.2.00.0	Matos	0,7
3.3.0.00.0	Espaços descobertos ou com pouca vegetação	0,7
5.1.1.00.0	Cursos de água naturais	1
5.1.2.00.0	Planos de água	1
5.2.3.01.1	Oceano	1

***Quadro 58:** Grau de infiltração na bacia do rio Onda, tendo por base a Carta de Ocupação do Solos (COS 2015).*

Código Classe (N.5)	Classe de Ocupação do Solo (Nível 5)	Grau de Infiltração (0- 1)
Bacia hidrográfica do rio Onda		
1.1.1.00.0	Tecido urbano contínuo	0,1
1.1.2.00.0	Tecido urbano descontínuo	0,2
1.2.1.00.0	Indústria, comércio e equipamentos gerais	0,2
1.2.2.00.0	Rede viária e espaços associados	0,2
1.2.4.00.0	Aeroportos e aeródromos	0,2
1.3.3.00.0	Áreas em construção	0,4
1.4.1.00.0	Espaços verdes urbanos	0,7
1.4.2.02.0	Outras Instalações desportivas e equipamentos de lazer	0,2
1.4.2.03.0	Outros equipamentos culturais e outros e zonas históricas	0,2
2.1.0.00.0	Culturas temporárias de sequeiro e de regadio	0,5
2.2.1.00.0	Vinhas	0,5
2.2.2.00.0	Pomares	0,5
2.3.1.01.1	Pastagens permanentes	0,6
2.4.2.01.1	Sistemas culturais e parcelares complexos	0,5

2.4.3.01.1	Agricultura com espaços naturais e seminaturais	0,5
3.1.1.00.5	Florestas de eucalipto	0,6
3.1.1.00.7	Florestas de outras folhosas	0,6
3.1.2.00.1	Florestas de pinheiro bravo	0,6
3.1.2.00.2	Florestas de pinheiro manso	0,6
3.2.1.01.1	Vegetação herbácea natural	0,7
3.2.2.00.0	Matos	0,7
3.3.0.00.0	Espaços descobertos ou com pouca vegetação	0,7
5.2.3.01.1	Oceano	1

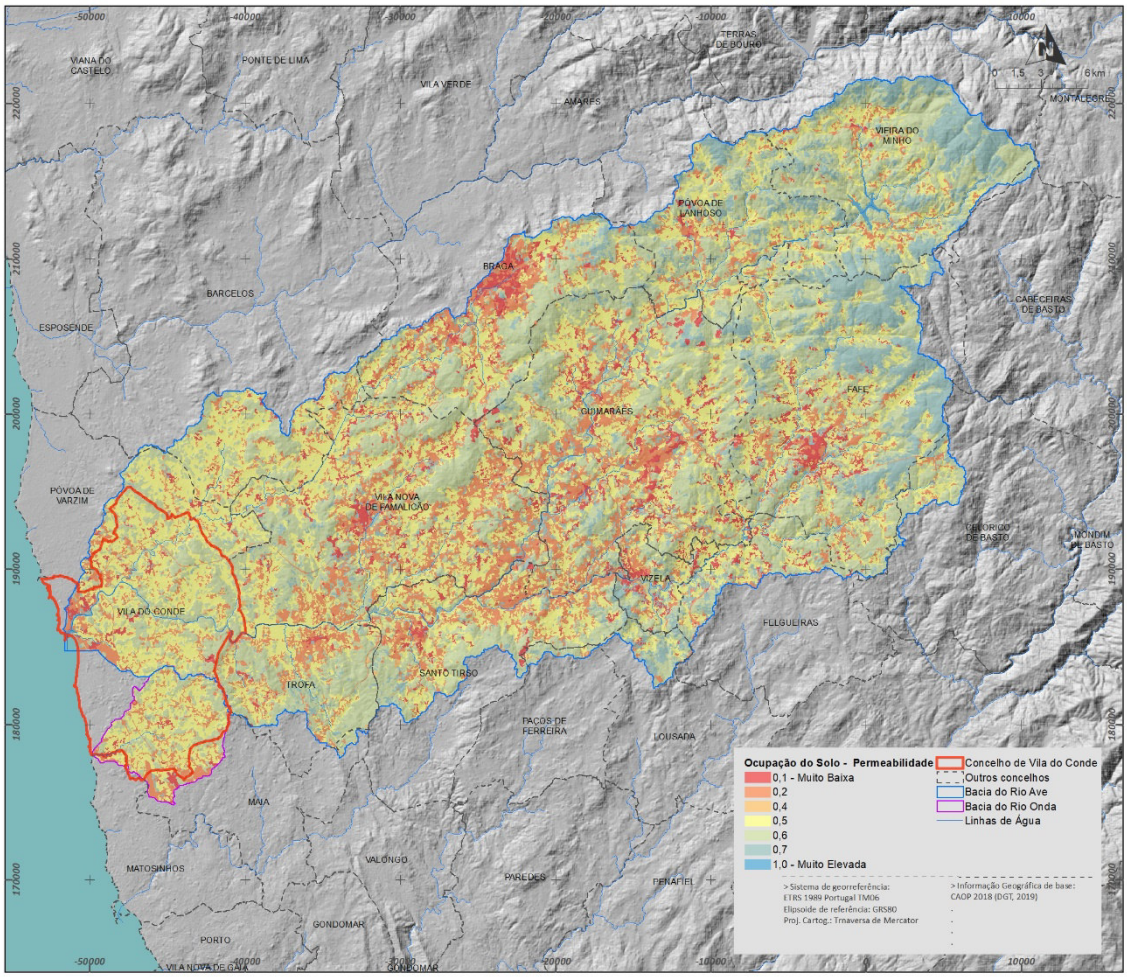


Figura 33: *Mapa do grau de infiltração nas bacias dos rios Ave e Onda.*

De seguida, procedeu-se ao cruzamento da permeabilidade relativa com as áreas impermeáveis resultando a permeabilidade modificada (Figura 34). Esta entra em linha de conta com a direção dos fluxos à semelhança do que se efetuou com o declive de forma à obtenção da permeabilidade acumulada. Por fim, com base na permeabilidade acumulada e na acumulação dos fluxos obtém-se a permeabilidade média (Figura 35).

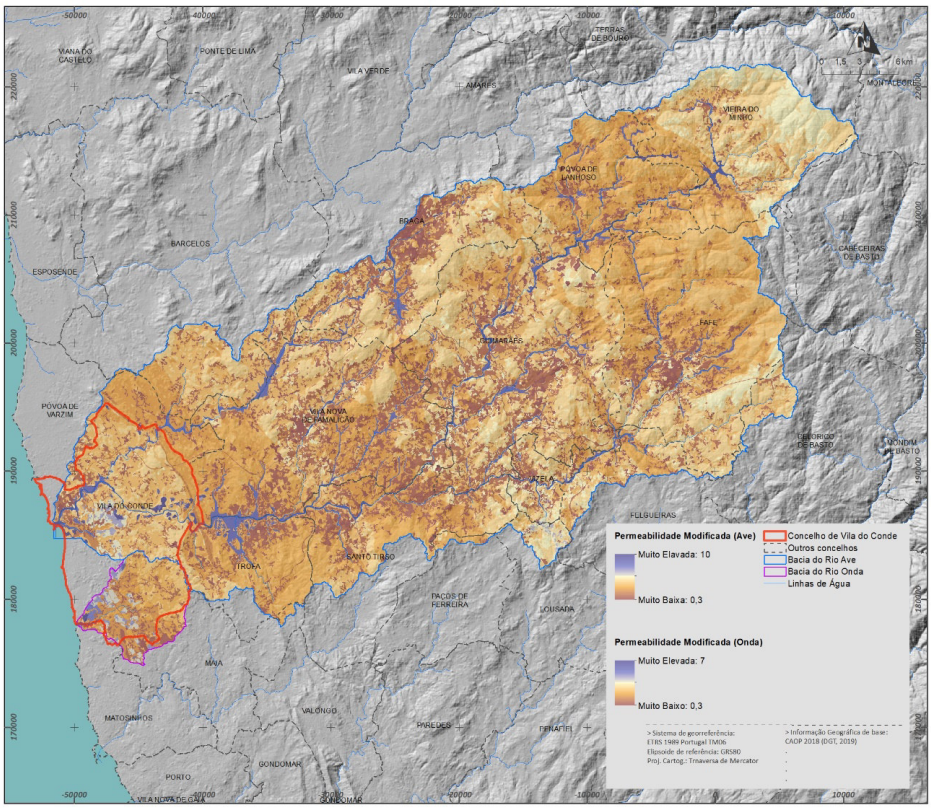


Figura 34: *Mapa de permeabilidade modificada para as bacias dos rios Ave e Onda.*

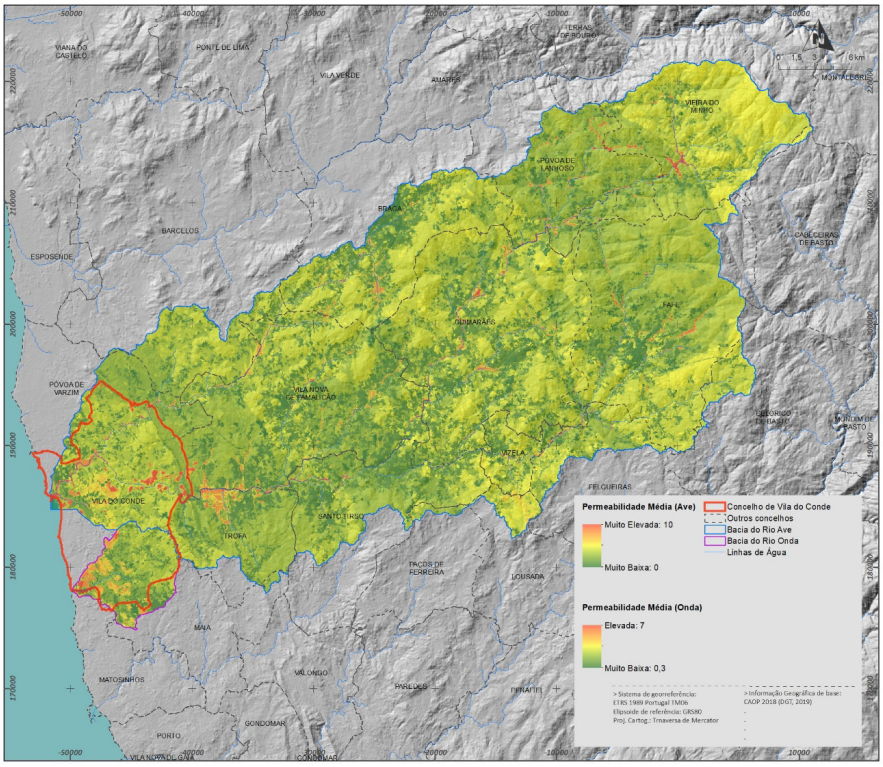


Figura 35: *Permeabilidade média nas bacias dos rios Ave e Onda.*

Uma vez calculadas as três variáveis, procedeu-se à sua padronização. Considerou-se então, para que todas as variáveis integrantes do modelo tenham uma gama de valores semelhante, valores a variar entre 0 e 10, obtidos a partir duma função linear.

Segue-se a integração das variáveis no modelo. O método de integração utilizado foi a análise multicritério.

Partindo do princípio que os valores de acumulação de fluxos correspondem à variável mais importante, uma vez que define a convergência e a consequente acumulação de fluxos, foi-lhe atribuído o peso mais elevado. O declive é a variável responsável pela maior ou menor velocidade de escoamento, e a permeabilidade a que tem mais importância no volume de água disponível para escoamento à superfície. No caso desta última variável, deve ser calculado o inverso do seu valor, pois, ao contrário das duas restantes, um aumento da permeabilidade induz a uma diminuição da suscetibilidade.

O método funciona de forma iterativa, através do ajustamento progressivo das funções e ponderações que representam as condições na bacia hidrográfica para cada variável considerada, tendo como referência os registos de cheias. Desta forma, testaram-se várias situações, com diferentes ponderações; após uma análise cuidada e pormenorizada, as ponderações seguintes demonstraram ser as que mais se aproximam da realidade do terreno:

$$S_{Cheias} = (C_A.A + C_P P + C_D.D) = 0{,}85A + 0{,}10P + 0{,}05D$$

em que:

A = é a Acumulação,

P = é a Permeabilidade,

D = é o Declive,

C_A, C_P e C_D = são os respetivos coeficientes de ponderação.

Desta forma, com base na expressão anterior, e após a identificação do limiar de suscetibilidade, obtêm-se os troços da rede hidrográfica com maior potencialidade para gerar inundações (Figura 36).

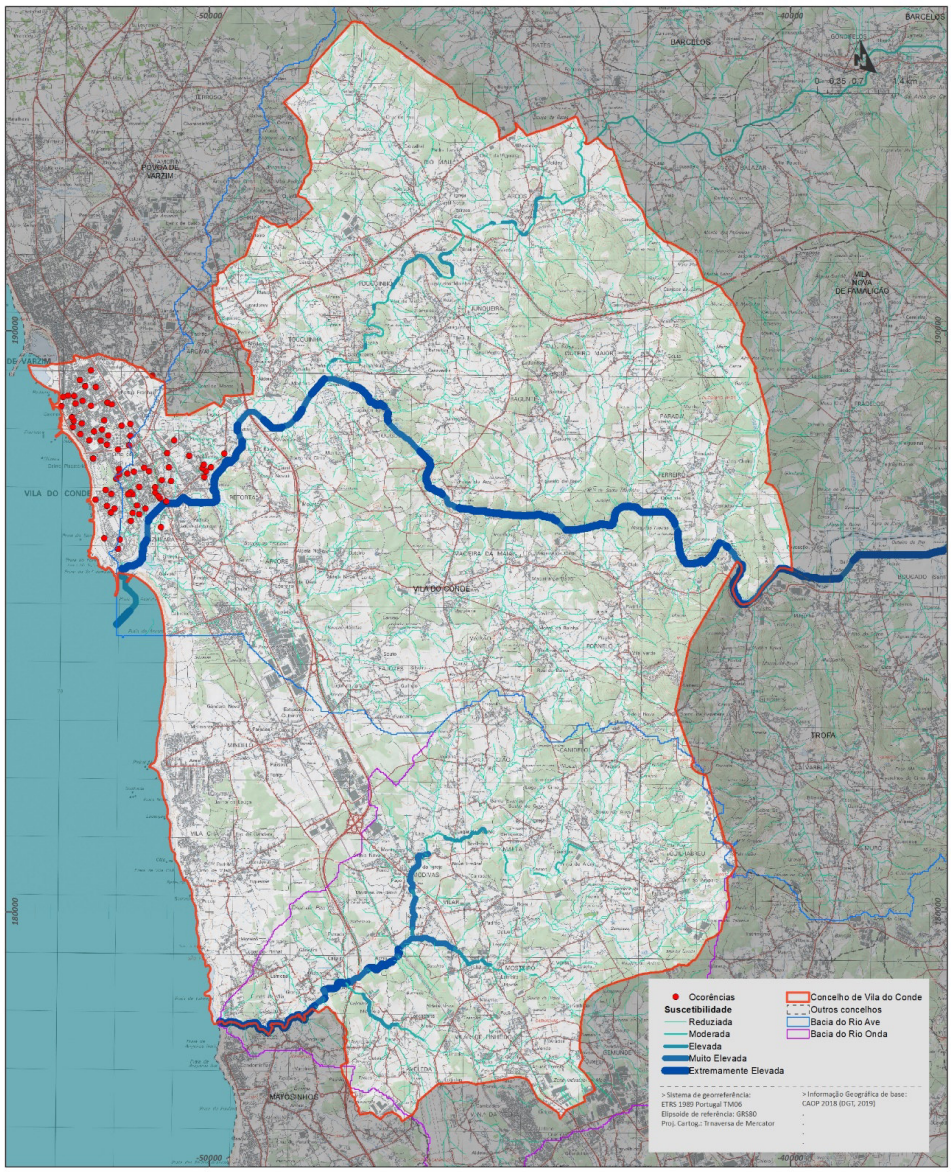


Figura 36: *Suscetibilidade à ocorrência de cheias no concelho de Vila do Conde e distribuição espacial de ocorrências.*

Esta análise aplicada às bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda demonstra que ao longo dos cursos de água principais, ao talvegue propriamente dito, verificam-se estes como sendo os mais suscetíveis de provocar cheias. Verifica-se menor suscetibilidade, como se é de esperar, na parte montante de cada curso de água principal, aumentando para jusante à medida que aumenta também a hierarquia com a confluência de outros cursos de água, podendo ser confirmado com os locais onde se verificam a maior parte das ocorrências.

O troço mais suscetível de gerar cheias é o troço final do rio Ave, imediatamente antes da desembocadura e a A28, troço para onde confluem todos os afluentes, correspondendo ao assentamento urbano com maior densidade e como tal um grau de impermeabilização do solo mais elevado. A zona a montante de Macieira da Maia também regista uma suscetibilidade muito acentuada. No entanto, a ocorrência bastante frequente de cheias neste sector e a forte perceção deste fenómeno por parte da população, leva a uma reduzida ocupação desta área (onde é mais evidente a presença de infraestruturas de apoio à atividade agrícola), daí não se registarem aqui quaisquer ocorrências. Por sua vez, o troço correspondente à fase final do rio Este surge com suscetibilidade classificada de moderada a elevada, não

sendo a zona mais suscetível à ocorrência de cheias, como é uma zona de forte edificação qualquer evento vai ter maior incidência e percussão nestas áreas.

O troço final do rio Onda, nomeadamente a jusante da EN13, apresenta uma suscetibilidade considerável, onde as cheias são uma realidade.

4.2. Modelação hidráulica

Os estudos hidráulicos são necessários para a modelação de cheias de áreas inundáveis nas bacias hidrográficas. De entre os vários modelos hidráulicos existentes, optou-se pelo HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*), por ser um software gratuito e de uso recorrente neste tipo de estudos. A modelação hidráulica foi, assim, realizada neste software, com auxílio do ArcGIS e da ferramenta HEC-GeoRAS, que foi utilizada na criação da geometria do rio (leito, margens, trajetos do fluxo, uso e ocupação do solo e secções transversais) a partir dos dados de base tratados anteriormente.

Dos caudais obtidos com base no método de Correia (1984) para os períodos de retorno 5, 20, 25, 50 e 100 anos para as estações consideradas, apresentados no capítulo anterior, escolheu-se o caudal centenário para simular o escoamento nas bacias dos rios Onda e Ave no HEC-RAS, de acordo com os procedimentos apresentados em USACE (2010).

Este software simula escoamentos unidimensionais, usa o método *direct-step* de Chow (1959) e permite considerar condições de regime permanente, variável ou misto. Dispõe ainda de uma interface gráfica que permite a visualização rápida dos resultados descritos mais a frente em pormenor.

As simulações em HEC-RAS efetuadas para a avaliação da capacidade de transporte da linha de água permitem, não apenas a obtenção das cotas de cheia para os caudais de ponta determinados, mas também determinar a área inundável correspondente ao período de retorno indicado. Adicionalmente, obter-se-ão os valores das velocidades médias nas secções transversais de cálculo.

O HEC-GeoRAS é uma extensão para o ArcGIS 10.5, desenvolvida conjuntamente pelo *Hydrologic Engineering Center* (HEC) de *United States Army Corps of Engineers* e pelo *Environmental System Research Institute* (ESRI). Basicamente, é um conjunto de procedimentos, ferramentas e utilidades desenhadas para processar dados georreferenciados que possam ser tratados em ambiente de SIG com o objetivo de facilitar e complementar o trabalho com o HEC-RAS. O HEC-GeoRAS cria um arquivo para importar para o HEC-RAS dados da geometria do terreno incluindo o canal do rio, secções transversais, etc. Posteriormente, os dados resultantes das simulações de obtidos no HEC-RAS são exportados para o ArcGIS 10.5 para poderem ser processados para obtenção de mapas de inundação.

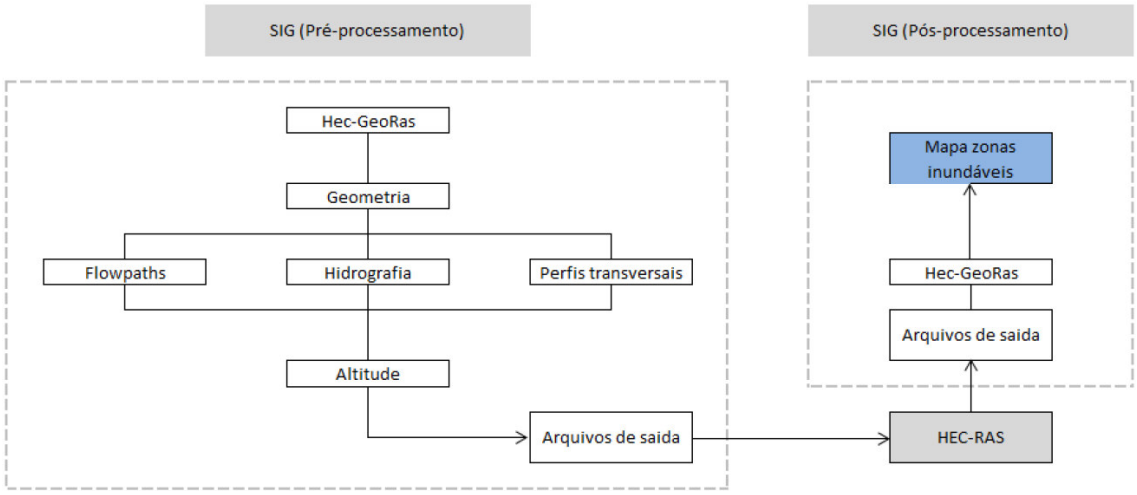


Figura 37: *Modelo conceptual da integração do SIG com o HEC-RAS.*

4.2.1. Preparação dos dados de entrada no modelo

Apesar do processo de tratamento das várias variáveis necessárias ao modelo ter sido desenvolvido ao longo do decorrer de todo o estudo, neste ponto será apresentado o processo para a obtenção dos ficheiros correspondente às variáveis que compõem a geometria que fazem parte do ficheiro de entrada no software HEC-RAS. Serão também apresentados os caudais correspondentes às bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda e respetiva caracterização hidráulica.

i. Dados geométricos

O HEC-GeoRAS, apoia-se em SIG para gerar os dados de geometria da bacia necessários à simulação de caudais de ponta de cheia para a prevenção de cheias e inundações. Os dados utilizados para determinar a geometria do terreno a importar mais tarde no modelo hidráulico foram baseados nos dados de base de altimetria e rede hidrográfica à escala 1:5.000 e 1:25.000.

Com recurso ao Menu *RAS Geometry*, é gerado um TIN (Triangular Irregular Network), a partir do qual são determinados os dados geométricos das secções transversais da rede hidrográfica da bacia.

O HEC-GeoRAS é composto por uma série de ferramentas que geram a geometria e os respetivos atributos dos canais fluviais, margens, localização de eventuais estruturas hidráulicas existentes ao longo dos canais fluviais necessários para entrada no HEC-RAS (Figura 37). Desta forma, descrevem-se sequencialmente os procedimentos utilizados.

Inicia-se o processo com a ferramenta ***Stream centerline***, que corresponde à vectorização da rede de drenagem que se pretende modelar, com a finalidade de estabelecer o alcance da rede de drenagem. As linhas de água foram traçadas com recurso à rede de drenagem criada anteriormente. A vectorização é efetuada de montante para jusante, seguindo uma ordem, com especial atenção para que todas as confluências fiquem corretamente conectadas.

De seguida, procede-se à vectorização das ***Bank lines***; esta ferramenta serve para distinguir o leito da linha de água da zona da várzea. É utilizada para atribuir propriedades diferentes para as secções transversais. Por exemplo, nas zonas

de várzea são atribuídos valores mais elevados de *Manning* para explicar a maior rugosidade causada pela vegetação. A sua vectorização também é feita de montante para jusante. Ao contrário das *Stream centerlin*e, podem sofrer quebras e embora não existam quaisquer diretrizes específicas, digitalizaram-se de montante para jusante e primeiro a margem esquerda e depois a margem direita, de forma a manter a coerência com os procedimentos utilizados em outros parâmetros.

De seguida, são indicados os ***Flowpaths***, que correspondem ao centro de massa do escoamento fluvial que ocorre no leito maior, na margem esquerda e na margem direita da rede de drenagem. Uma vez que a *Stream Centerline* se encontra no centro do leito da rede de drenagem, optou-se por usar a mesma como *Flowpath*.

Depois destes três processos, procedeu-se à criação dos ***Cross-sectional***, ou seja, à vectorização dos perfis transversais ao longo dos vales. São um dos principais inputs para o HEC-RAS e são utilizadas para extrair os dados de elevação do terreno ao longo de todos os fundos de vale onde escoam cursos de água relevantes para a análise de cheias. A sua vectorização obedece a três regras: é feita perpendicularmente à direção do escoamento; tem de abranger a extensão da área inundável a ser modelada; e é feita da esquerda para a direita. Embora possam ser vetorizados um a um, não é muito prático para grandes extensões. Para isso, recorreu-se à ferramenta ***Construct XS Cut Lines***, que permite criar os perfis automaticamente, indicando a distância entre perfis e a sua extensão, aos quais foram posteriormente introduzidos novos perfis em zonas onde se considerou necessário.

O software também permite identificar, através da ferramenta Bridges/culverts, linhas que definem o eixo do tabuleiro de uma ponte ou passagens hidráulicas, por exemplo, assim como áreas de fluxo inativo, ou seja, por exemplo, áreas de planície aluvial, áreas onde a velocidade é zero com recurso à ferramenta ***Inffective flow areas***.

A confluência de canais ou nós corresponde à localização onde acontece a confluência entre dois troços. No presente estudo foram considerados os nós, nas intersecções das linhas de água que possuem um leito e caudal suscetíveis de gerar cheias.

Para cada uma das bacias calcularam-se os dados relativos à geometria necessários à determinação do caudal de ponta para cada uma delas (Quadro 59).

Quadro 59: *Dados da geometria das bacias dos rios Ave e Onda.*

Principais Caraterísticas	**Bacia hidrográfica**	
	Rio Ave	**Rio Onda**
Área da Bacia Hidrográfica (km²)	1391,20	47,20
Curso de Água Principal (m)	100140	14560
Cota na secção a montante (m)	1056,63	162,51
Cota na secção a jusante (m)	-9,02	-1,28
Declive médio (m/m)	0,0106	0,0112

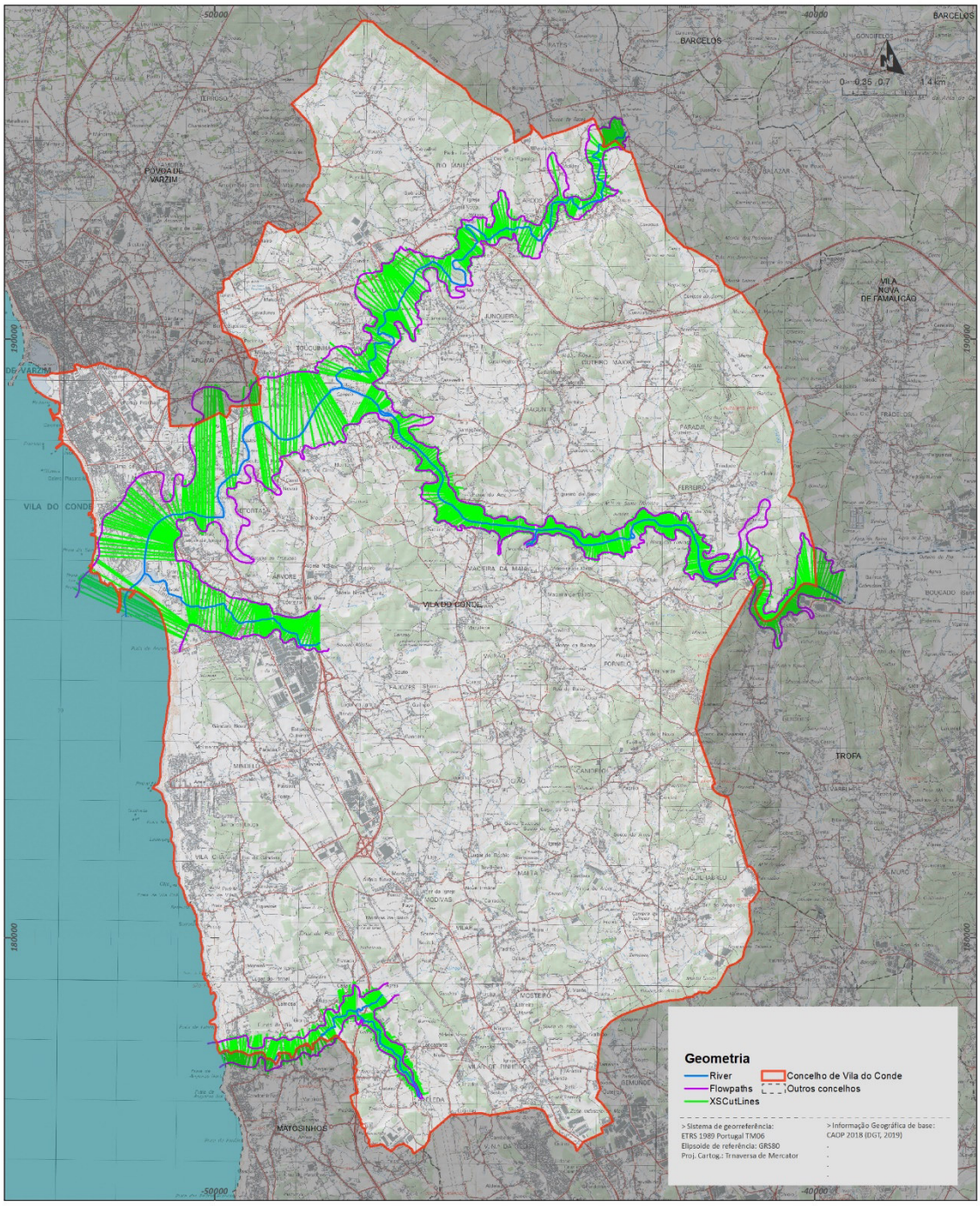


Figura 38: *Geometria dos vales para modelação hidráulica nas bacias dos rios Ave Onda.*

ii. Dados hidráulicos

Os dados hidráulicos são transmitidos ao modelo através dos coeficientes de Perda de Energia e de Rugosidade de Manning.

No caso do modelo de estudo foram usados os coeficientes de Manning (Quadro 60), com base na Carta de Ocupação do Solo (COS) da DGT, de 2015 à escala 1.25000, o valor de Manning não é obrigatório, mas essencial pois armazena o valor da rugosidade. É utilizado pelo HEC-RAS para atribuir diferentes rugosidades a diferentes ocupações do solo interferindo diretamente na velocidade de escoamento.

No HEC-GeoRAS através da aplicação ***Manning's n Values*** atribui-se a cada tipo de ocupação um valor de rugosidade disponível em várias fontes (Chow et al., 1988; USACE, 2010), apresentada em forma de polígonos e mais tarde exportados em forma de tabela com a informação de cada secção transversal, de forma a ser introduzida no modelo.

Quadro 60: *Coeficiente de Manning com base na ocupação do solo nas bacias hidrográficas dos rios Ave e Onda.*

Tipo de ocupação do solo	Valor de Mannnig
Núcleos em espaço rústico	0,05
Áreas Agrícolas	0,04
Áreas de Baixas Aluvionares	0,03
Áreas edificadas compactas	0,06
Áreas edificadas fragmentadas e não estruturadas	0,05
Matos e incultos	0,06
Áreas de indústria, comércio, logística e armazenagem	0,05
Espaços vazios sem construção	0,03
Áreas edificadas dispersas	0,05
Povoamentos florestais	0,06

iii. Escoamento

Os dados de escoamento são necessários ao cálculo dos níveis da água e consistem em regimes de escoamento, caudais de ponta de cheia e condições de fronteira.

Considerou-se o escoamento permanente (*steady flow*) para a velocidade independente do tempo e consequentemente dependente unicamente da posição, permitindo a introdução de dados relevantes sobre o escoamento em determinados pontos estratégicos.

As condições de fronteira são os pontos em que se atribui a cota da superfície a montante ou a jusante ou em ambas, o que constitui um processo essencial para que o programa corra.

O processo pode correr com três condições essenciais:

- regime subcrítico, em que as condições de fronteiras necessárias são introduzidas a jusante no sistema;
- regime supercrítico, em que as condições são inseridas a montante no sistema;
- regime misto, em que são necessárias ambas as condições.

Determinou-se o tempo de concentração e o coeficiente de escoamento para cada uma das bacias e, com base no método SCS proposto por Correia (1984) determinou-se o caudal de ponta necessário para dados de entrada no modelo.

Assim no Quadro 61 apresentam-se os dados para cada uma das bacias.

Quadro 61: *Dados para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos*

Parâmetro		**Bacia Hidrográfica**	
		Ave	**Onda**
Tc - Tempo de Concentração (Horas)		17,22	5,17
CN – Número de escoamento ponderado		70,95	78,26
Qp - Caudal de Ponta (m³/s)	10 anos	433,29	27,34
	50 anos	664,15	40,32
	100 anos	770,90	46,34

4.2.2. Modelação Hidráulica: Simulação

i. Inserção dos dados de entrada no modelo

Os dados de entrada no modelo HEC-RAS correspondem aos dados geométricos, hidrológicos, condições de fronteira e aos valores do coeficiente de rugosidade de Manning anteriormente referidos.

No painel ***Geometric Data***, importou-se a geometria criada no Hec-GeoRAS, esta contendo a informação da topologia da rede hidrográfica, secções transversais e valores de Manning.

O próximo passo diz respeito à inserção dos dados hidrológicos e das condições de fronteira. No painel ***Steady Flow Data*** introduz-se o valor do caudal de ponta para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos a cada troço e as respetivas condições de fronteira no painel ***Steady Flow Boundary Conditions***, isto é, o declive da secção mais a montante e o declive da secção mais a jusante.

ii. Definição do plano geral e execução da modelação hidráulica

Como referido anteriormente, o HEC-RAS permite a análise a dois tipos de regime – constante e variável –, optando-se pelo primeiro em virtude dos dados de escoamento disponíveis. Dos 3 tipos de regime disponíveis (subcrítico, misto e supercrítico) optou-se pelo regime misto para que seja o programa a selecionar as secções transversais onde ocorre cada um dos dois tipos de regime de escoamento.

Nas opções definiu-se que a computação do transporte (*conveyance*) seja feita entre cada ponto das secções transversais e não apenas onde há mudanças de coeficiente de rugosidade; e adotou-se o método de fricção do declive definido por defeito para as análises de escoamento constante (*average conveyance*).

O tipo de condição de fronteira adotado foi o declive médio da bacia, aceite no manual do USACE (2010) em substituição do *Normal Depth Slope* (declive de energia usado na equação de *Manning*).

Uma vez introduzidos todos os dados necessários à simulação e definidas as condições de simulação, a fase da simulação no HEC-RAS é efetuada no painel *Perform* a *Steady Flow Simulation* através da ferramenta *Compute* e consiste na execução do modelo propriamente dito.

O perfil das áreas inundáveis apresenta-se nas figuras 39 e 40.

Os dados foram devidamente analisados e exportados para o Hec-GeoRAS a partir da opção *Export GIS Data* no menu principal.

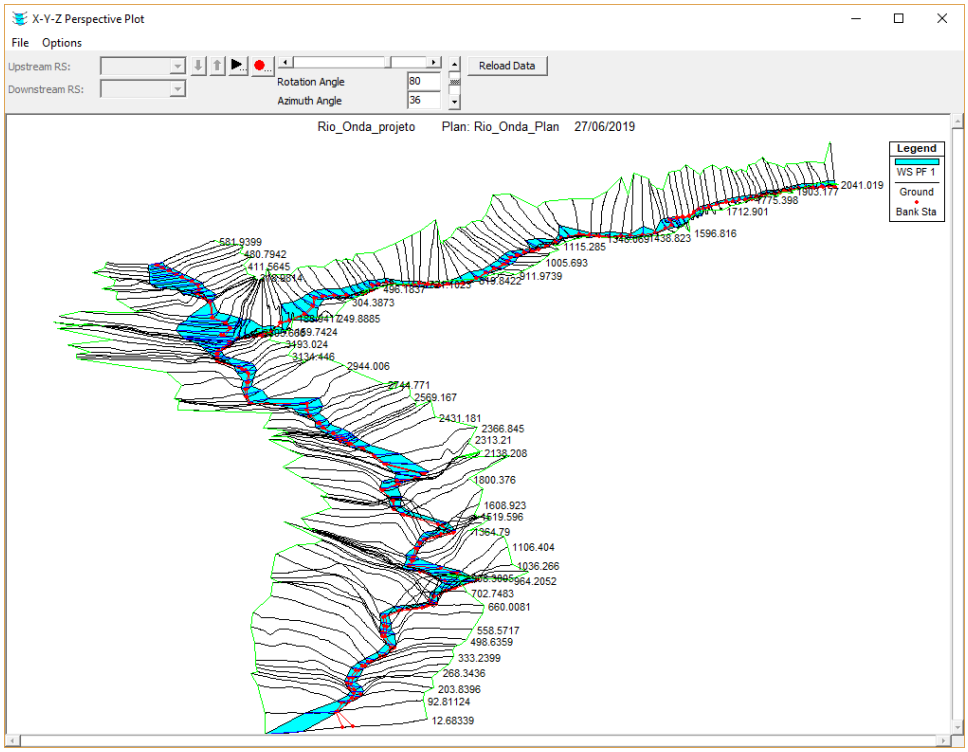


Figura 39: *Resultado da simulação correspondente ao perfil das áreas inundáveis no Rio Onda*

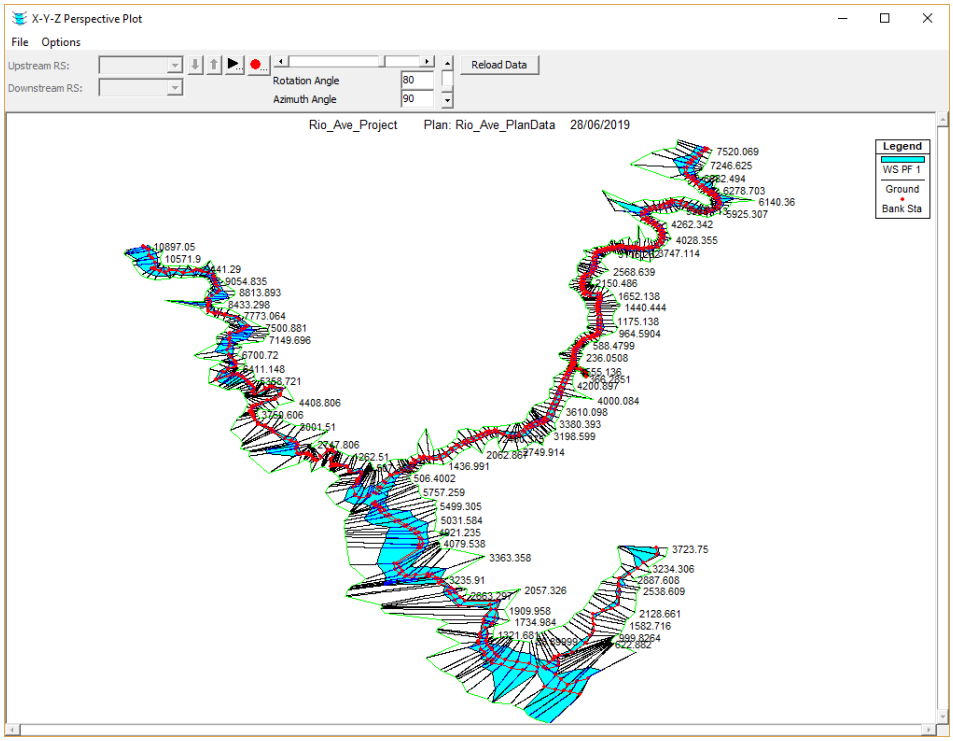


Figura 40: *Resultado da simulação correspondente ao perfil das áreas inundáveis no Rio Ave (concelho de Vila do Conde)*

4.2.3. Cálculo das áreas inundáveis

De volta ao *software* HEC-GeoRAS para o pós-processamento dos dados obtidos na modelação, a extensão ***ApUtilities*** converte os dados do formato SDF para XML e posteriormente, cruzando esta informação com o MNE, produz informação geográfica nos formatos normalmente usados em SIG e neste caso em concreto, pelo ArcGIS (formatos SHAPE, GRID e TIN). O software gera camadas a partir dos resultados da simulação do HEC-RAS.

As variáveis exportadas permitem não só a representação cartográfica do polígono da área inundável, como permitem, subtraindo o TIN representativo das alturas da coluna de água com o TIN representativo da morfologia do terreno, classificar as áreas de acordo com as profundidades verificadas e respetivas velocidades de escoamento.

A modelação hidráulica realizada abrange as áreas anteriormente consideradas suscetíveis de serem inundadas pelo modelo de suscetibilidade.

i. Polígonos das áreas inundáveis

A área inundável obtida pela modelação hidráulica para os diferentes períodos de retorno considerados, no concelho de Vila do Conde demonstram a importância do tema, neste território (Quadro 62).

Quadro 62: *Área inundáveis para o período de retorno de 10, 50 e 100 anos*

Rio	Período de Retorno		
	10 anos (ha)	**50 anos (ha)**	**100 anos (ha)**
Ave	335,30	409,75	461,88
Variação (%)	-	22,2%	5,4%
Onda	17,92	20,00	20,87
Variação (%)	0,00	11,6%	4,4%
Concelho	**353,22**	**429,75**	**482,75**
Variação (%)	**-**	**21,7%**	**5,3%**

Se compararmos os dados para os diferentes períodos de retorno constata-se que no concelho de Vila do Conde, para um período de retorno de 10 anos, a área inundável é de 353,22ha, ao passarmos para os 50 anos a área sobe 21,7% e para os 100 anos chega aos 452,60ha, mais 5,3% que para o período de retorno dos 50 anos.

A cheia com um período de retorno de 100 anos resulta, como se pode verificar (Figura 41 a 44), numa vasta área inundável, chegando a atingir áreas de urbanização como a zona baixa da Cidade de Vila do Conde, mais propriamente nas áreas a jusante da EN13. Destacam-se ainda vastas áreas mais rurais que tendem a ser inundadas, como a zona de passagem da A28 sobre o Rio Ave, a zona d confluência do rio Este com o rio Ave, na zona de Touguinhó, entre o rio Este e o nó da A7, na zona da Ponte de Arcos, principalmente a jusante na mesma. Quanto ao rio Onda há a destacar em Labruge, a montante do cemitério e à volta da A28 uma importante zona inundável.

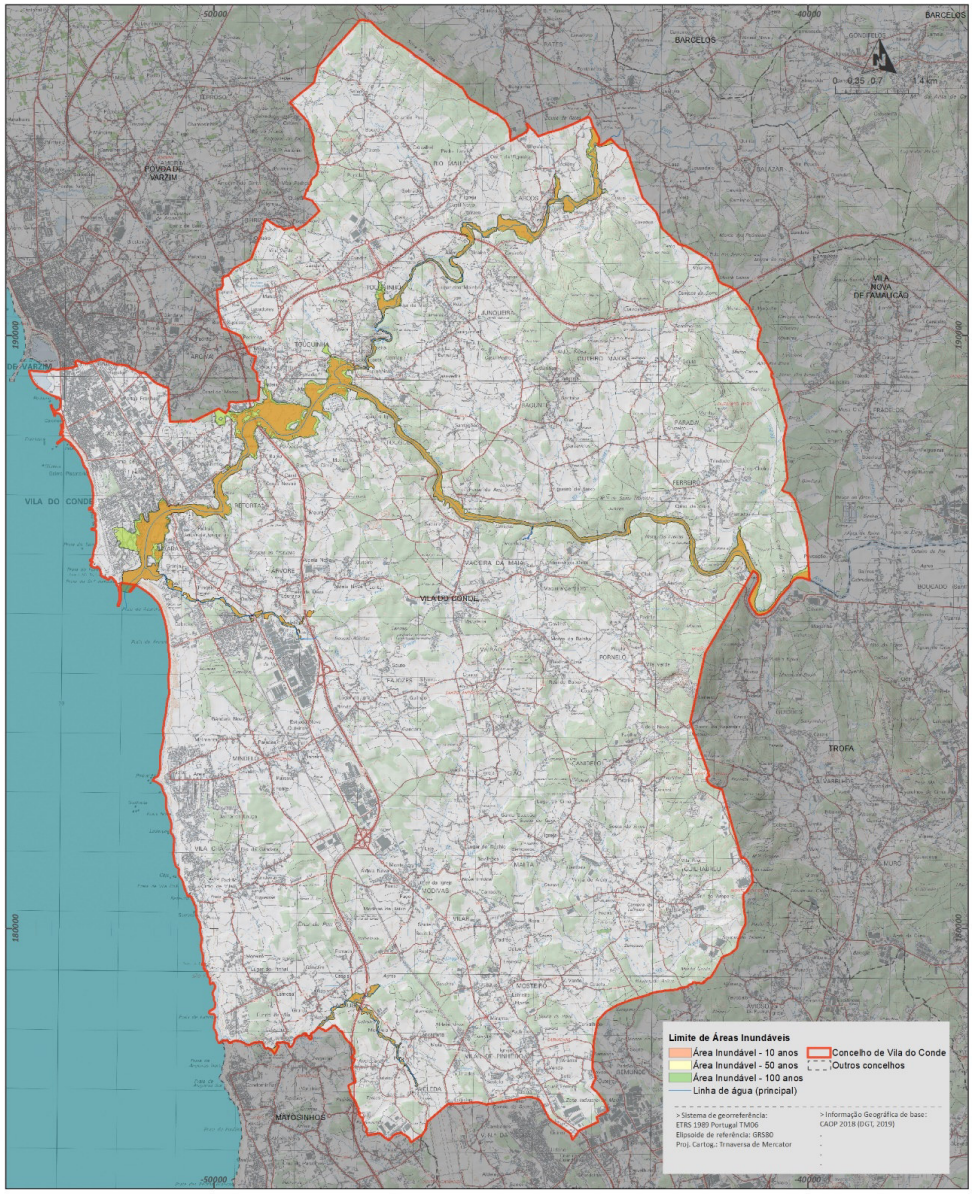


Figura 41: *Distribuição das Área inundáveis para o período de retorno de 10, 50 e 100 anos (Concelho de Vila do Conde)*



Figura 42: *Distribuição das Área inundáveis para o período de retorno de 10, 50 e 100 anos (Zona Urbana)*

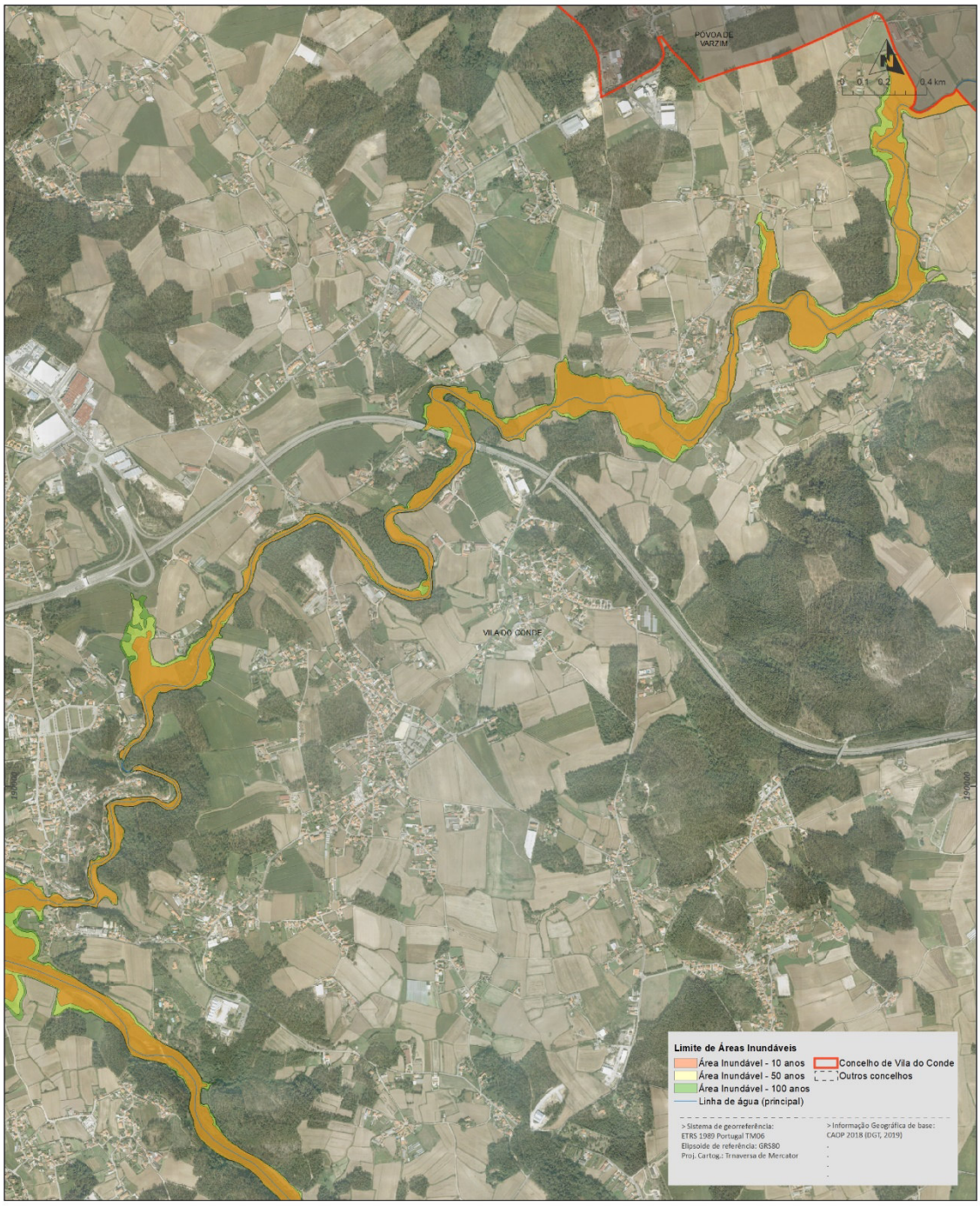


Figura 43: *Distribuição das Área inundáveis para o período de retorno de 10, 50 e 100 anos (rio Este)*

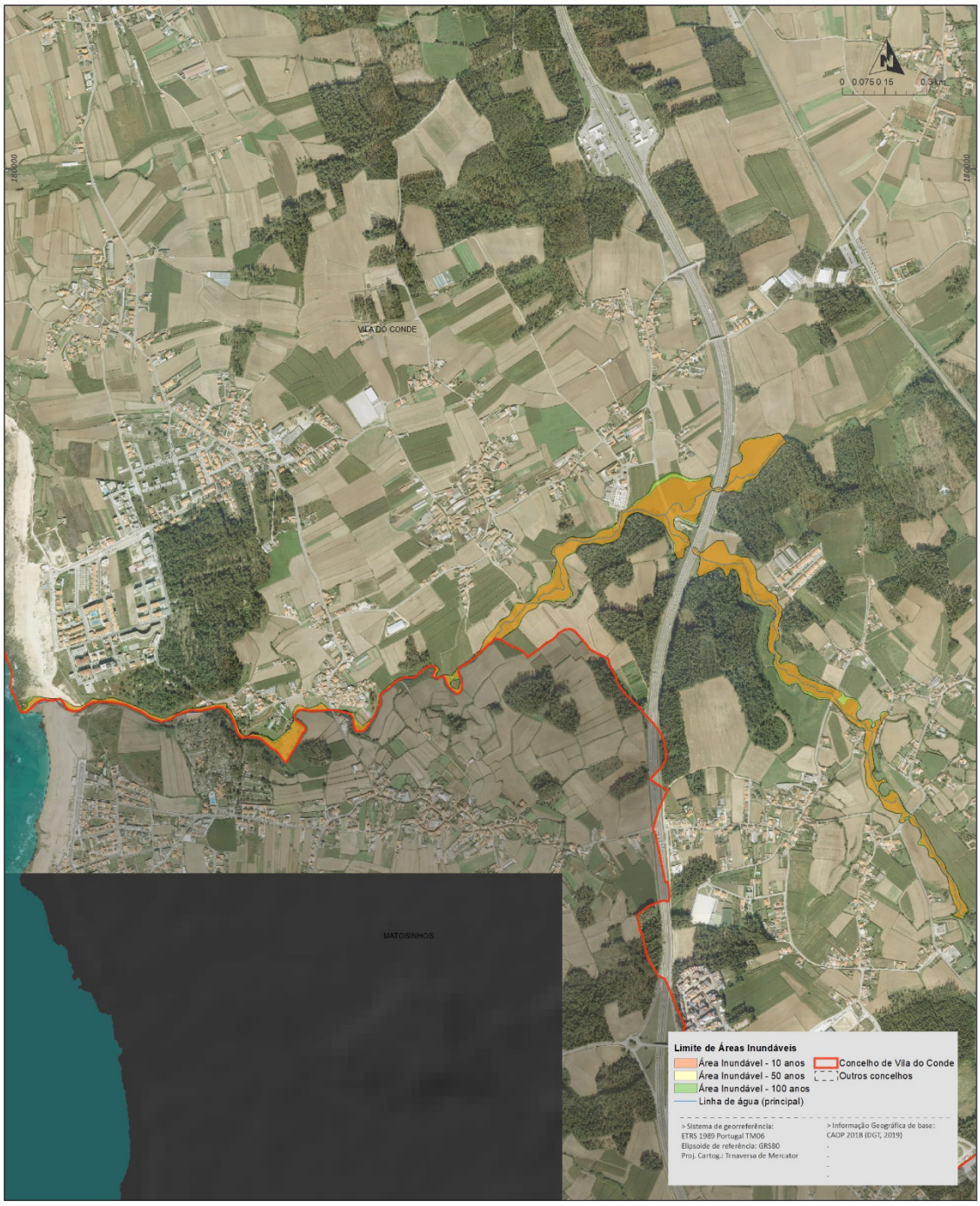


Figura 44: *Distribuição das Área inundáveis para o período de retorno de 10, 50 e 100 anos (rio Onda)*

ii. Profundidade das áreas inundáveis

O resultado da modelação desenvolvida apresenta-se em estrutura raster, com profundidades a variar entre 0 e 6,23 m no rio Ave e entre os 0 e 2,05m no rio Onda (Figura 45).

De um modo geral, e como seria de esperar, as profundidades são maiores nas áreas de leito menor e de declive mais acentuado. Verifica-se também um aumento imediatamente a jusante da confluência de duas linhas de água.

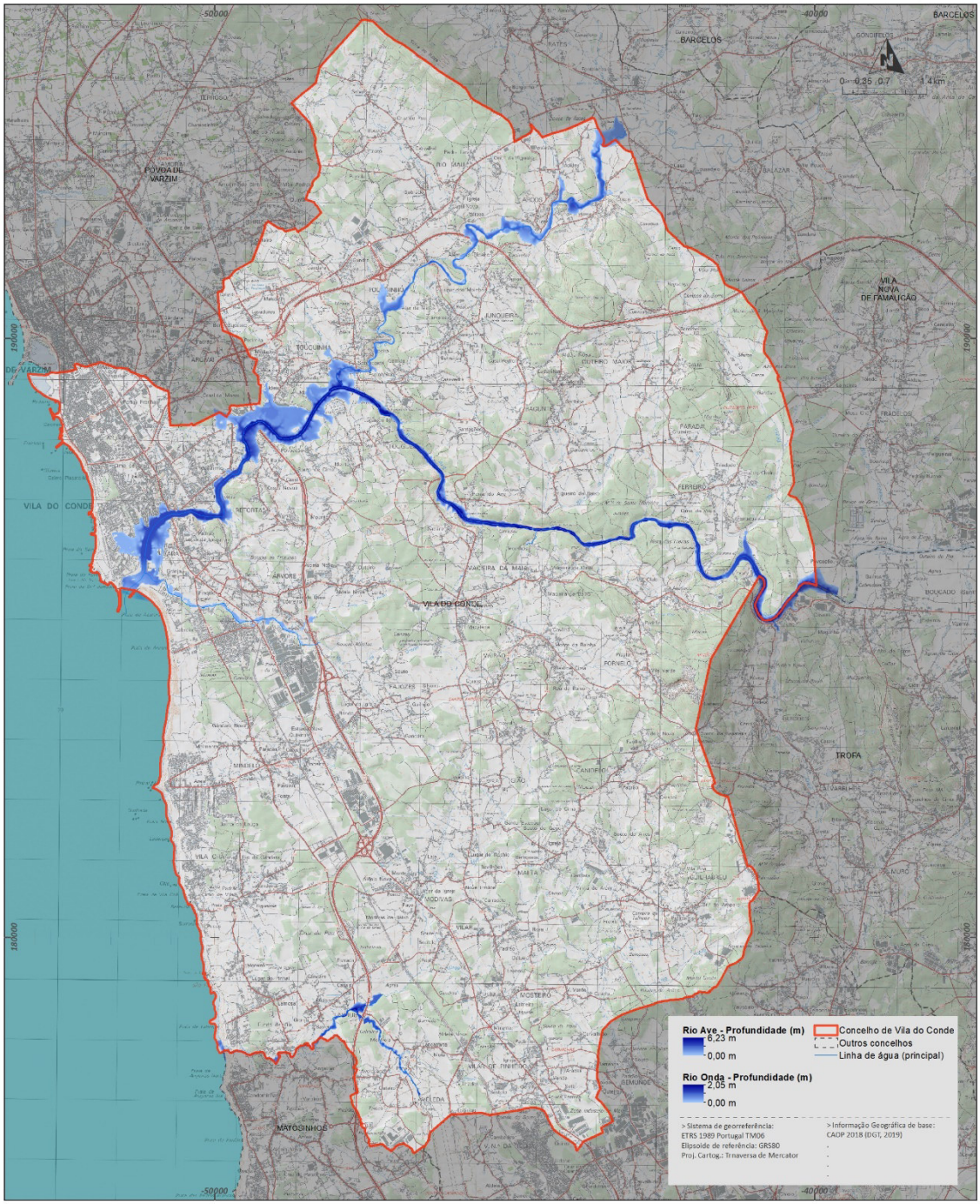


Figura 45: *Distribuição das Profundidades das áreas inundáveis para o período de retorno de 100 anos (Concelho de Vila do Conde)*

ii. Cartograma das zonas inundáveis

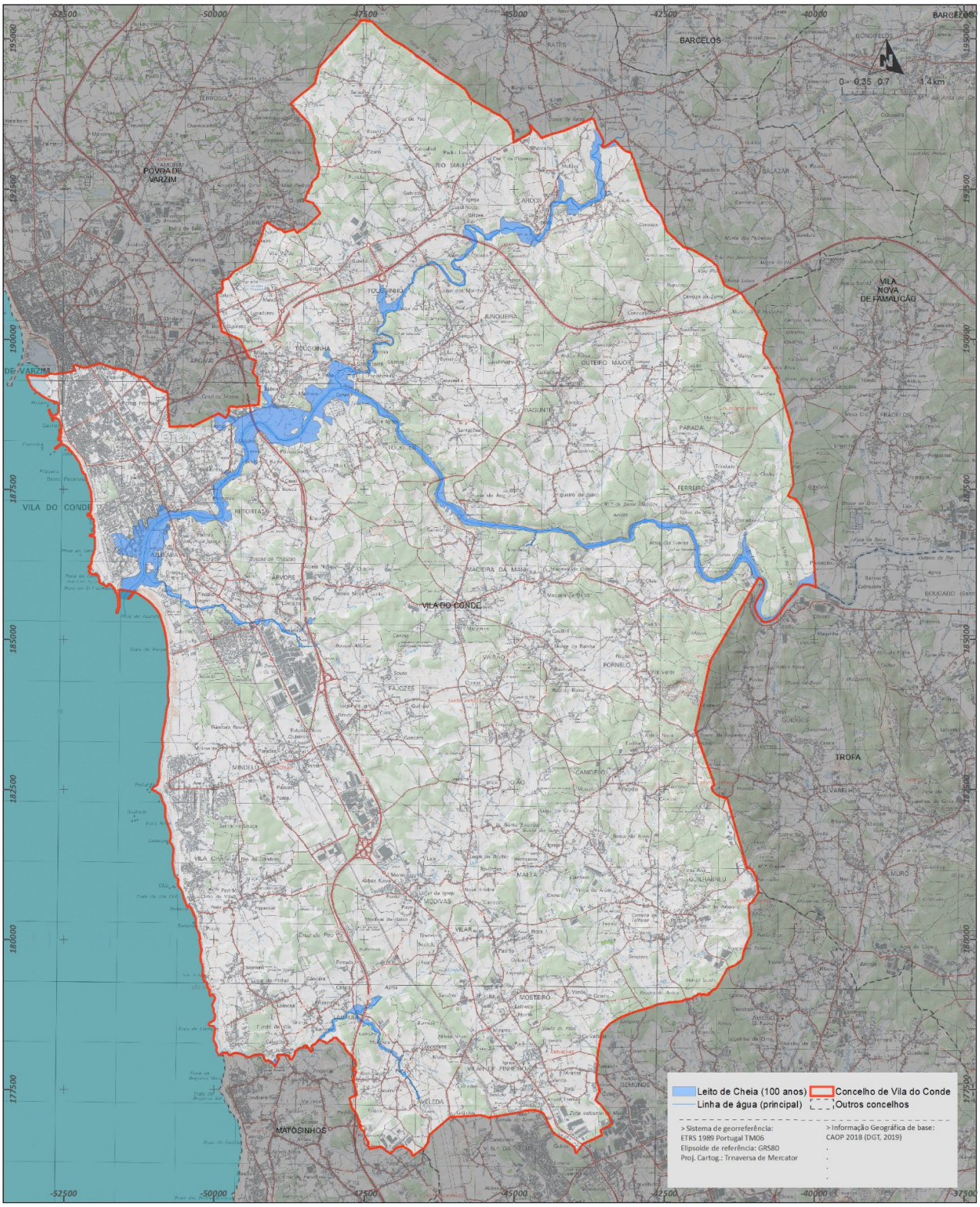


Figura 46: *Cartograma das áreas inundáveis*

5. Conclusão

As cheias são conhecidas como fenómenos que provocam a destruição de infraestruturas (edifícios, estradas, etc.) e terrenos ribeirinhos essencialmente agrícolas, deixando, por vezes, a população e várias entidades impotentes perante o fenómeno.

A bacia hidrográfica do rio de Ave, é uma bacia frequentemente atingida por cheias, que são desencadeadas por precipitações intensas e concentradas, levando ao desencadeamento de enxurradas de água e lama, que podem apanhar as populações desprevenidas.

A fase final da bacia hidrográfica de Ave é realçada pela sua menor permeabilidade, na sua maioria constituída por áreas urbanas pavimentadas e edificadas.

Da análise quantitativa das características biofísicas da bacia, verifica-se um grande potencial de cheias.

A distribuição das precipitações na área da bacia do Ave apresenta alguma variabilidade.

O período de análise comum a todas as estações, mostra-se, através da comparação (análise) com séries mais longas, representativo do comportamento da precipitação anual.

Verifica-se uma variação sazonal clara entre os meses mais chuvosos e os meses menos chuvosos, apresentando-se duas estações bem definidas sendo a do período chuvoso (Outubro a Abril) e o seco (Maio a Setembro).

Das estações utilizadas na caracterização, todas apresentam uma forte correlação entre elas.

A suscetibilidade da bacia à ocorrência de cheias resulta do cruzamento de três variáveis condicionantes, permitindo determinar os troços de cada afluente, assim como do curso de água principal e classifica-los segundo diferentes classes de suscetibilidade. A área mais suscetível é a área imediatamente antes da desembocadura, área para onde convergem todos os cursos de água, sendo a que apresenta maior risco, por ser a área da bacia mais povoada, também em grande parte pelo conhecimento do fenómeno que a população foi adquirindo ao longo dos anos.

Os riscos são mais reduzidos nas áreas mais a montante na bacia do Ave e do Onda, por serem as menos urbanizadas e impermeabilizadas da área de estudo.

A existência de registos históricos de ocorrências (DISASTER) e de marcas de cheias (DGRAH e SNIRH), permitiram, de certa forma, sustentar o modelo de suscetibilidade a partir da sua sobreposição ao modelo, verificando-se as ocorrências nas proximidades dos troços mais suscetíveis.

A delimitação e conhecimento das áreas afetadas por cheias permitem fazer uma cartografia do risco de cheias, ferramenta indispensável para que se faça uma ocupação correta dos leitos de cheia, com vista a um adequado ordenamento do território à escala municipal.

O trabalho mostra que as bacias hidrográficas em estudo com um vasto historial de situações de cheias, continuam suscetíveis de sofrer cheias, o que é de ter em conta em operações de ordenamento do território, respeitando as áreas ribeirinhas e o leito de cheia.

6. BIBLIOGRAFIA

Autoridade Nacional de Proteção Civil (2010) Anuário de Ocorrências de Proteção Civil 2010, ANPC.

Borges, B.; Duarte, A.; Pancada, R.; Pedro, P.; Ramos, C. (2005) Cheias rápidas em áreas urbanas e sua percepção: o caso da bacia da Rª de Odivelas, Proceedings of the X Colóquio Ibérico de Geografia, Évora.

Brandão, C. (1995) - Análise de precipitações intensas. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos, IST, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

Brandão, C.; Rodrigues R. R.; Costa, J.P. (2001) - Análise de fenómenos extremos. Precipitações intensas em Portugal Continental, Instituto Nacional da Água. Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos, Instituto da Água, Lisboa.

Correia, F. N., (1984) - Proposta de um método para a determinação de caudais de cheia em pequenas bacias naturais e urbanas, ITH6, LNEC, Lisboa.

Correia, F.N. (1984a) – Proposta de um método para a determinação de caudais de cheia em pequenas bacias naturais e urbanas, ITH6, LNEC, Lisboa.

Correia, F. N. (1984b) - Alguns procedimentos adoptados pelo Soil Conservation Service para o estudo do impacto da urbanização nos caudais de cheia, ITH 7, LNEC, Lisboa.

Chow, V. T. (1956) Hydrologic Studies of Floods in the United State, Int. Ass. Scientific Hydrol. Publ. 42

Chow, V. T. (1959) Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill. New York (EUA)

Chow, V. T.; Maidment, D. R.; Mays, L. W. (1988) Applied Hydrology. McGraw-Hill International Student Edition, Singapura.

Equipa DISASTER (2012). Web-SIG DISASTER, DISASTER – Desastres naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal: base de dados SIG para o apoio à decisão mo ordenamento do território e planeamento de emergência (FCT – PTDC/CS-GEO/103231/2008).

Fragoso, M. H. C. M. (2003) - Climatologia das Precipitações Intensas no Sul de Portugal, Dissertação dout., Universidade de Lisboa, Faculdade de Letras, Departamento de Geografia, Lisboa.

Instituto de Meteorologia (2008) - Relatório DMC/CIME- 01/2008. Cheias de 18 de fevereiro de 2008, Instituto de Meteorologia, Lisboa.

Leal, M. (2011) - As cheias rápidas em bacias hidrográficas da AML Norte: factores condicionantes e desencadeantes, dissertação de mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa.

Leal, M.; Ramos C. (2013) - Susceptibilidade às Cheias na Área Metropolitana de Lisboa Norte, Factores de Predisposição e Impactes das Mudanças de uso do Solo, Finisterra, XLVIII, 95, 2013, pp.17-40

Loureiro, J. M. (1984) - Expressão para o Cálculo do Caudal de Cheia em Cursos de Água de Portugal, Recursos Hídricos, 5(1), pp. 53-78.

Nicolau, R. (2002) - Modelação e Mapeamento da Distribuição Espacial da Precipitação - Uma Aplicação a Portugal Continental, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Doutor.

Portela, M.; Silva, A.; Melim, C. (2000) - O efeito da ocupação urbana nos caudais de ponta de cheias naturais em pequenas bacias hidrográficas, 5º Congresso da água, "Água e o desenvolvimento sustentável": desafios para o novo século.

Quintela, A. C. (1984) - Hidrologia de águas superficiais, Curso Internacional de Hidrologia Operativa. M.E.S., S.E.O.P., Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamento Hidráulicos, Lisboa.

Ramos, C. (1994) – Condições geomorfológicas e climáticas das cheias da Ribeira de Tera e do Rio Maior (bacia hidrográfica do Tejo), Dissertação de doutoramento em Geografia Física, Faculdade de Letras. Universidade de Lisboa.

Ramos, C. (2005) Programa de Hidrogeografia, DLIF-3, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Ramos, C. (2009) Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território (Programa de Unidade Curricular do 2º ciclo), SLIF- 6, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Ramos, C. e Reis, E. (2001) - As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas, Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia, vol. XXXVI, nº 71, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.

Reis, E. (1996) - Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica na análise morfológica de Bacias Hidrográficas, Dissertação de mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Ramos C, Zezere J, Reis E, Mendonça J (2010) Reserva Ecológica Nacional da Área Metropolitana de Lisboa, Quadro de Referencia Regional. CCDR-LVT. Lisboa

Reis, E.; Zêzere, J. L.; Vieira, G. T.; Rodrigues, M.L. (2003) – Integração de dados espaciais em SIG para avaliação da susceptibilidade à ocorrência de deslizamentos, Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia, XXXVIII, 76, Lisboa, p.3-34.

Reis, E. (2006) – As bacias hidrográficas das Ribeiras da Serra de Grândola – dinâmica hidrológica e factores condicionantes, Dissertação de doutoramento em Geografia Física, Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa.

Rodrigues, R. R. (1986) – Avaliação das disponibilidades hídricas superficiais com base na precipitação. Introdução ao Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos, vol. 4,

Série Metodologias para a Avaliação de Políticas de Recursos Hídricos, NATO-POWATERS, LNEC, Lisboa.

Schumm, S. A. (1956) Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy, Geol. Soc. America Bulletin.

USACE. (2010) HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic, References Manual V4.1. Davis, C.A.: US Army Corps of Engineers - Hydraulic Engineering Center.

Zbyszewski, G. (1964) – Notícia explicativa da folha 2 – Loures. Carta geológica dos arredores de Lisboa, Escala de 1:50 000. Direcção-geral de minas e serviços geológivos. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Zêzere, J. L. (2001) - Evolução geomorfológica da Bacia de Loures no decurso do Quaternário, Câmara Municipal de Loures (Ed.) Redescobrir a Várzea de Loures. Ambiente, Geologia e Pré-história Antiga na Várzea. C.M. Loures.

Zêzere, J. L.; Pereira, S.; Tavares, A.; Bateira, C.; Trigo, R.; Quaresma, I.; Santos, P.; Santos, M. e Verde, J, (2014). DISASTER: a GIS database om hydro-geomorphologic disasters in Portugal. Natural Hazards, Springer, 72 (2), pp 503-532.