

DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS INUNDÁVEIS EM ARCOS DE VALDEVEZ, RECORRENDO À MODELAÇÃO HIDRÁULICA

Paula Leite¹

¹Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, Faculdade de Letras da Universidade do Porto,
Via panorâmica, s/n, 4150-564 Porto

Abstract:

Floods are extreme hydrological events and can be considered slow or fast. This natural risk is considered a potentially dangerous event, which in the worst-case scenario can lead to catastrophes. The center of Arcos de Valdevez is consecutively affected by this natural risk, with hundreds of flood events in 115 years of inventory, and thousands of human interventions, to reduce the susceptibility of the population to natural risk. The delimitation of flood areas is essential. For this, hydraulic modeling was carried out, using two distinct methodologies (Loureiro and Giandotti) and two disparate DEM's (digital terrain model), one with 10m of spatial resolution and the other with 2m of spatial resolution, to determine which methodology best suits the territory and to ascertain what influence the cell size influences on the determination of floodplains.

Resumo:

As cheias são eventos hidrológicos extremos, podendo ser consideradas lentas ou rápidas. Este risco natural é considerado um evento potencialmente perigoso, que no pior dos cenários pode originar catástrofes. A vila de Arcos de Valdevez é consecutivamente fustigada por este risco natural, registando-se centenas de eventos de cheias em 115 anos de inventário, e milhares de intervenções humanas, com o intuito de diminuir a suscetibilidade da população ao risco natural. Posto isto, a delimitação das áreas inundáveis é fundamental. Para tal, procedeu-se à modelação hidráulica, recorrendo a duas metodologias distintas (Loureiro e Giandotti) e a dois MDT's (modelo digital de terreno) díspares, um com 10m de resolução espacial e outro com 2m de resolução espacial, para assim determinar qual a metodologia que mais se adequa ao território e para averiguar qual a influência do tamanho da célula na determinação das áreas inundáveis.

Palavras-chave: Cheias, Lidar, Iber, Arcos de Valdevez, Risco Natural.

Introdução

As cheias são fenómenos hidrológicos extremos, de frequência variável, naturais ou induzidos pela ação humana, onde o curso de água transborda face ao seu leito ordinário (Ramos, 2013). O conceito de cheia e inundação são erradamente utilizados como sinónimos, pois “todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações são devido às cheias” (Ramos, 2013), sendo as cheias a principal causa da inundação (Rocha, 2013).

O principal fator desencadeante das cheias ou inundações fluviais, em Portugal, são os eventos meteorológicos, como as chuvas intensas, a fusão da neve/gelo, o efeito combinado da precipitação e das marés (Ramos, 2013; Rocha, 1998). Para além das cheias, existem as inundações de depressões topográficas, as inundações costeiras e as inundações urbanas (Ramos, 2013).

No que concerne às cheias (inundações fluviais), estas podem ser consideradas lentas/progressivas (em grandes cursos de água) ou rápidas / repentinas (em rios e ribeiras com bacias hidrográficas de pequena a média dimensão e/ou originadas por episódios de precipitação muito intensa e concentrada (Ramos, 2013; Zêzere et al. 2006).

Este processo caracteriza-se pela frequência (definida pelo tempo de retorno, ou seja, o intervalo de tempo entre ocorrências de igual magnitude), pela intensidade (determinada pelo

caudal do curso de água, em m³/s), pela progressão (delimitada pelo tempo de atraso entre a chuvada e o escoamento), pela sazonalidade (altura do ano em que as cheias ocorrem), e pela duração, (tempo que dura a inundação fluvial) (Lima et al. 1994).

Dependendo da altura da água, do caudal, da frequência e da velocidade, as inundações fluviais podem ser consideradas um evento potencialmente perigoso, originando situações de risco, caso existam elementos expostos, tais como: população, propriedades, atividades económicas, entre outros (Ramos, 2013; Zêzere et al. 2006). No pior dos cenários podem originar catástrofes, caso provoquem 10 ou mais mortes, 100 ou mais pessoas afetadas, a necessidade de um pedido de ajuda internacional e a declaração de estado de emergência (Ramos, 2013).

As áreas inundáveis, são áreas particulares do território afetadas pelas cheias, sendo de extrema importância defini-las e cartografá-las (Ramos, 2013). A determinação da incidência espacial do perigo designa-se por suscetibilidade. Enquanto, a probabilidade de ocorrência do perigo, numa área e num dado período, denomina-se por perigosidade (Ramos, 2013).

Sendo assim, é importante realçar o papel das políticas de proteção civil e ordenamento do território, no sentido de mitigar o risco (Ramos, 2013). *“O conhecimento dos perigos que afetam o território e a sua localização, alcance e efeitos disseminados é fundamental para o desenvolvimento do planeamento de emergência”* (Julião et al. 2009). Posto isto, segundo Ramos (2013), *“as cartas de risco de inundação/cheia permitem um acompanhamento mais eficaz da gestão territorial das áreas inundáveis potencialmente perigosas”*.

Caracterização da área de estudo

O concelho de Arcos de Valdevez é um concelho minhoto, localizado no distrito de Viana do Castelo, que faz fronteira a norte com Monção e Melgaço, a oeste com Paredes de Coura, a sudoeste com Ponte de Lima, a sul com Ponte da Barca e a oeste com Espanha (CAOP, 2019). Este concelho raiano possui 20 926 habitantes (INE, 2019), sendo constituído por 36 freguesias (CAOP, 2019).

No que diz respeito aos recursos hídricos, em Arcos de Valdevez destacam-se 3 bacias hidrográficas importantes, a do rio Vez (a maior), a do rio Adrão e a do rio da Peneda, todos eles afluentes do Rio Lima.

O rio Vez, nasce em Lamas de Vez, em Arcos de Valdevez, aos 1200m e desagua no Rio Lima, na freguesia de Souto, em Arcos de Valdevez (IGEOE, 2014 e 2015; CMAV, 2020). O rio Vez tem 41,3km de extensão, tendo 262,4 km² de bacia hidrográfica. A BHV (Bacia Hidrográfica do rio Vez) está compreendida entre os 20m e os 1415m de altitude (figura 1), registando uma altitude média de 525,4m (IGEOE, 2014 e 2015).

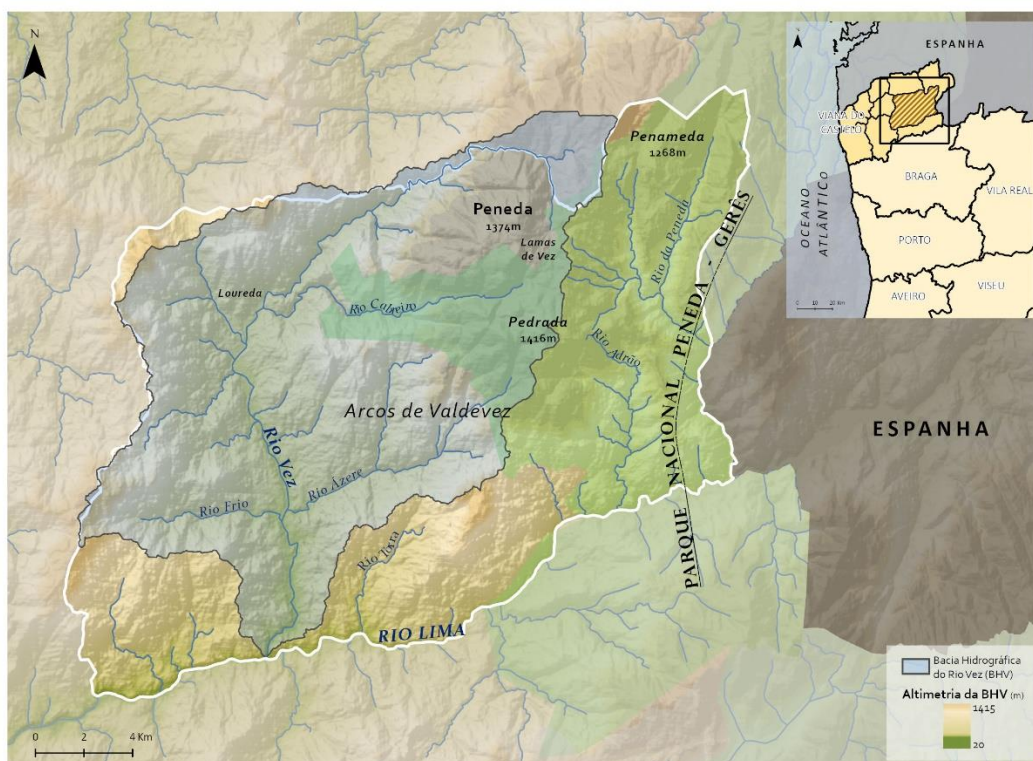


Figura 1- Enquadramento da Bacia Hidrográfica do Rio Vez (BHV) (Fonte: USGS, 2021; DivaGis, 2021; IGEOE, 2014 e 2015; DGT, 2019).

Em termos populacionais, como retrata a figura 2A, as elevadas densidades populacionais (mais de 100 habitantes por km²) localizam-se ao longo do vale aluvial do rio Vez, sendo que o número de habitantes por km², aumenta gradualmente à medida que se aproxima a vila de Arcos de Valdevez e a foz do rio Vez (INE, 2011). Contudo, a BHV caracteriza-se na sua maioria por ter fraca densidade populacional, ou seja, valores inferiores a 50 hab/km² (INE, 2011).

No que concerne ao uso do solo, tal como demonstra a figura 2B, na BHV predominam os matos com 38,7% e as florestas com 37%. A agricultura representa 15% da área, localizando-se predominantemente ao longo do vale aluvial do rio Vez (a jusante da foz do Rio Cabreiro) (DGT, 2018). Com cerca de 5% da área, surgem as áreas urbanizadas, que acompanham a tendência dos terrenos agrícolas, localizando-se predominantemente ao longo da planície aluvial (DGT, 2018). Por fim, os espaços descobertos ou com pouca vegetação, são marcantes na paisagem, representando cerca de 3% da área, sendo característicos das paisagens graníticas (DGT, 2018).

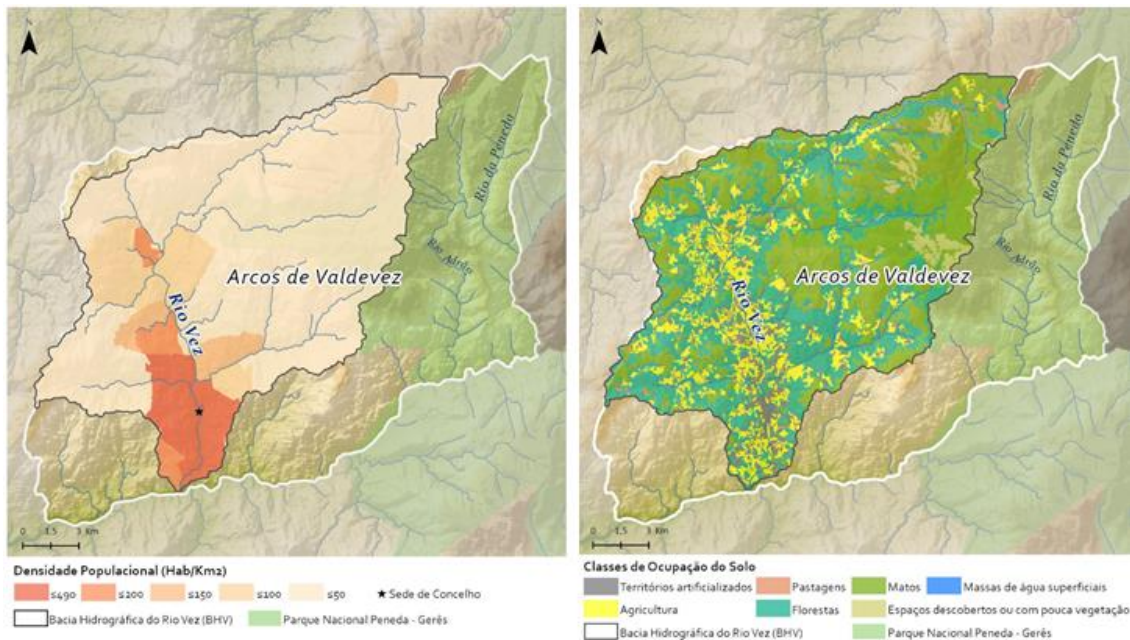


Figura 2- Densidade Populacional (A) e a Ocupação do Solo (B) da BHV (Fonte: DGT, 2018; INE, 2011).

As figuras 3A e 3B, caracterizam as vertentes da BHV, no que respeita aos declives e à exposição solar, respetivamente. Segundo a classificação de Young *et al.* (1972), a maioria das vertentes possui declives moderadamente acentuados (10° a 18°) e declives acentuados (18° a 30°). Os declives considerados muito acentuados a íngremes, localizam-se principalmente nos vales de rocha, *i.e.*, a secção montante do vale do rio Vez e o vale do rio Cabreiro, separados pelo interflúvio da Serra da Peneda. Por sua vez, os declives suaves a moderados predominam sobretudo na planície aluvial do rio Vez. Relativamente à orientação da incidência solar, na BHV predominam as vertentes voltadas a Oeste, a Sudoeste, a Sul e a Sudeste. Na figura D é notório que a Este do rio Vez, predominam as vertentes voltadas a Sudoeste, Oeste e Noroeste e a Oeste do rio Vez predominam as vertentes orientadas a Este, Sudeste e a Sul.

A figura 3B, representa a exposição das vertentes e indiretamente, reflete a energia recebida pela radiação solar que uma determinada bacia hidrográfica pode receber conforme a sua orientação. No caso de Portugal, as vertentes voltadas a Norte apresentam menor incidência solar – as vertentes úmbrias e, consequentemente, quantidades de humidade elevadas. Por sua vez, nas vertentes voltadas a Sul, existe maior incidência solar e níveis de humidade menores – as vertentes soalheiras (Martins, 2017).

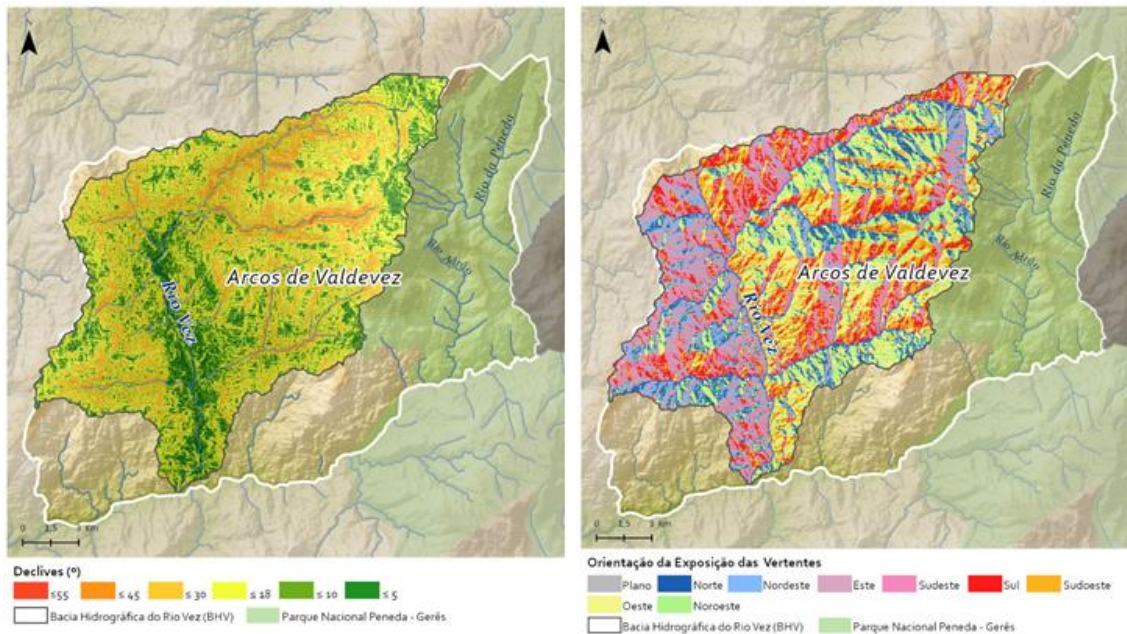


Figura 3- Declives, em graus (A) e Orientação da Exposição das Vertentes (B) (Fonte: USGS, 2021; DivaGis, 2021; IGEOE, 2014 e 2015; DGT, 2019).

A BHV localiza-se no Maciço Hespérico, na Sub-Zona Galaico Transmontana (Moreira *et al.*, 1988). Esta é constituída predominantemente por rochas graníticas hercínicas (figura 4), de idades posteriores “à primeira fase de deformação hercínica” (Moreira *et al.*, 1988).

Em menor percentagem, a BHV é ainda composta por rochas metassedimentares, do Complexo Xisto-Grauváquico, com intercalações de quartzitos e liditos, conservados em vales de fratura (na secção correspondente à nascente do rio Vez) e por depósitos de cobertura e terraços de idade quaternária, ao longo do vale do rio Vez (Moreira *et al.*, 1988).

Em Arcos de Valdevez, atuaram três fases de deformação hercínica, destacando-se a terceira, onde surgiram “cisalhamentos dúcteis conjugados” (Moreira *et al.*, 1988), com orientações predominantes entre NNW-SSE, N-S e WNE-ESE (Moreira *et al.*, 1988). Para além disso, a fraturação tardi-hercínica, produziu ainda sistemas de desligamentos conjugados com as seguintes direções: WNW-ESE, ESE-WSW e NNE-SSW (Moreira *et al.*, 1988).

Topograficamente, a região é essencialmente montanhosa. Das inúmeras elevações, destaca-se a serra da Peneda com 1374m de altitude e a Pedrada com 1416m de altitude (Moreira *et al.*, 1988; IGEOE, 2014 e 2015).

O rio Vez e os seus afluentes, o rio Cabreiro e o rio Ázere, possuem os seus leitos condicionados por falhas, correndo encaixados em vales tectónicos (Moreira *et al.*, 1988). A partir do lugar da Loureda, o rio Vez corre num vale retilíneo com orientação N-S (Moreira *et al.*, 1988). Na secção montante do rio Vez, destaca-se a morfologia glaciária, caracterizada pelos depósitos de origem glaciária, como penedos aborregados, moreias, blocos erráticos e as superfícies polidas e estriadas (Moreira *et al.*, 1988).

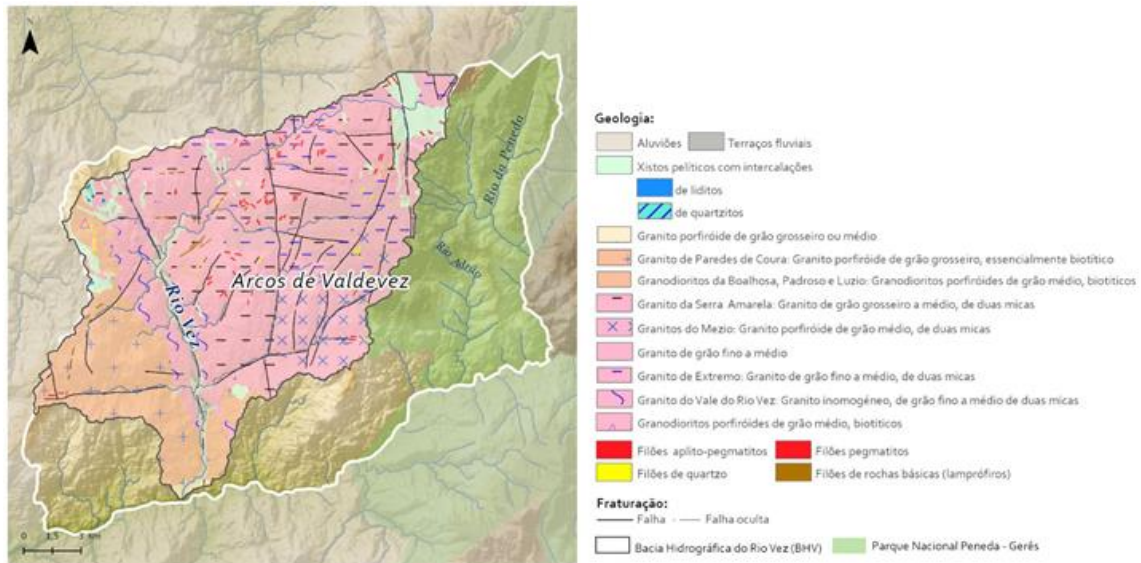


Figura 4- Geologia e Fraturação da BHV (Fonte: USGS, 2021; DivaGis, 2021; IGEOE, 2014 e 2015; DGT, 2019; LNEG, 1962, 1985 e 1974).

Relativamente, ao comportamento do curso do rio Vez (figura 5), a sua caracterização pode ser dividida em três setores. O primeiro setor, circunscreve-se desde a foz até aos 30km de extensão, possuindo um perfil côncavo, o segundo setor, localiza-se desde os 30km de extensão até aos 39km, caracterizando-se por um perfil convexo. O terceiro setor, localiza-se desde os 39km até à nascente do rio Vez, verificando-se um perfil “Steady-State” ou perfil em equilíbrio, o que significa que o troço em estudo, ainda não sofreu efeitos da erosão remontante. Os três setores anteriormente mencionados, encontram-se divididos por “knickpoints”, assinalando a diferenciação dos diferentes níveis de base.

Como demonstra a figura 5, o rio Vez desde a sua foz até aos 15km de extensão aprox. é composto por rochas sedimentares (aluviões), e a partir dos 15km até à sua nascente (42km) é composto maioritariamente por rochas granitoides.

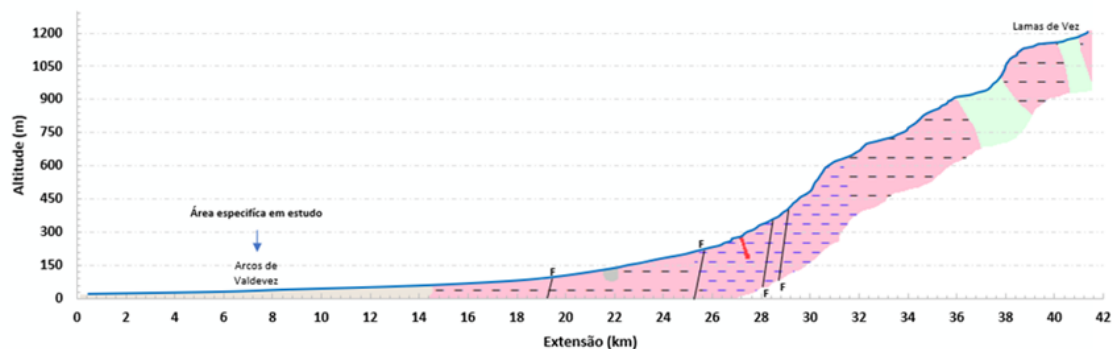


Figura 5- Perfil topográfico e corte geológico do rio Vez (legenda figura 4) (Fonte: LNEG, 1962, 1985 e 1974).

Os afluentes do rio Vez, o ribeiro de Frades, o rio Cabreiro, o rio de São Mamede e o rio Ázere, possuem maioritariamente perfis côncavos, onde é possível localizar alguns “knickpoints”, já o rio Frio destaca-se dos demais, visto que possui um perfil convexo.

No que concerne ao regime pluviométrico observado na BHV, segundo Daveau (1977) (figura 6A), o valor médio máximo anual pode rondar os 3250 mm de precipitação e o valor mínimo, os 1700mm. Os valores máximos localizam-se sobretudo nas altitudes elevadas,

nomeadamente na serra da Peneda (Daveau, 1977). Por sua vez, os valores mínimos (valores inferiores a 1900mm) localizam-se no vale aluvial do rio Vez (Daveau, 1977).

Analisando os gráficos pluviométricos das estações meteorológicas de Extremo, Sistelo, Cabreiro e Casal Soeiro (figura 6B), referentes ao período temporal de 1960 a 2000, é na estação de Extremo, onde se verifica o valor mais elevado, registando ca. de 4149,9 mm de máximo de precipitação anual em 2000 (SNIRH, 2021). Por sua vez, a estação de Cabreiro, no mesmo ano, registou 3978mm, a estação de Sistelo teve como valor máximo 3607mm (em 1965). A altitudes inferiores, a estação de Casal Soeiro, auferiu 3221mm de precipitação anual no ano 2000 (SNIRH, 2021).

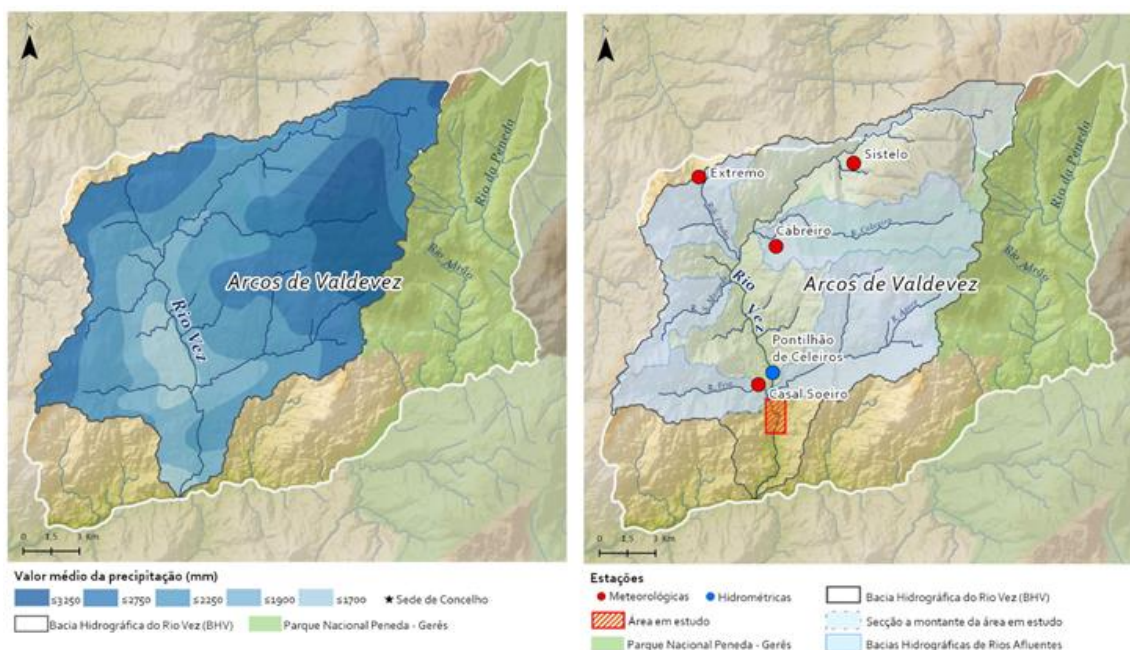


Figura 6- Valor médio da precipitação (mm) (A), estações meteorológicas e hidrométricas e as sub-bacias do rio Vez (B) (Fonte: Daveau, 1977; SNIRH, 2021).

Caracterização da área específica de estudo

A área específica em estudo (AAE), centro da vila de Arcos de Valdevez, localiza-se na União de freguesias de Arcos de Valdevez (Salvador), Vila Fonche e Parada e na União de freguesias de Arcos de Valdevez (São Paio) e Giela (CAOP, 2019).

Segundo Gonçalves (2018), a AEE é uma área frequentemente castigada pelas inundações fluviais. A esta pertence o Centro Histórico de Arcos de Valdevez (CHAV) (figura 7C), que foi classificado como tal em 1997, com a aprovação do Plano de Pormenor de Renovação Urbana Do Centro Histórico De Arcos De Valdevez, na Portaria nº 973/97. Este instrumento de gestão territorial visa salvaguardar o CHAV e classificá-lo como “conjunto do património cultural imóvel”, “enquanto peça integrante de toda a zona urbana de interesse histórico-patrimonial a classificar como tal” (Portaria nº 973/97).

A área específica de estudo, está compreendida entre os 25m e os 106m de altitude (figura 7C). Tais altitudes, confere-lhe declives suaves a moderados, compreendidos maioritariamente entre os 5º e os 10º (Young *et al.*, 1972), como demonstra a figura 2B. A figura 7A, retrata a bacia hidrográfica do rio Vez localizada a montante da AEE, com 244,3 km² de área, sendo que, o caudal que circula na AEE, depende da contribuição da bacia hidrográfica a montante.

Relativamente à ocupação do solo da AEE, entre 1995, 2007 e 2018, verifica-se um aumento sucessivo dos territórios artificializados, de 48,44% para 59,90% e uma diminuição contínua, da agricultura, floresta e matos (tabela 1). Ou seja, o crescimento das áreas urbanizadas, corresponde ao aumento das superfícies impermeabilizadas, o que provoca um acréscimo do escoamento superficial (Lima et al. 1994).

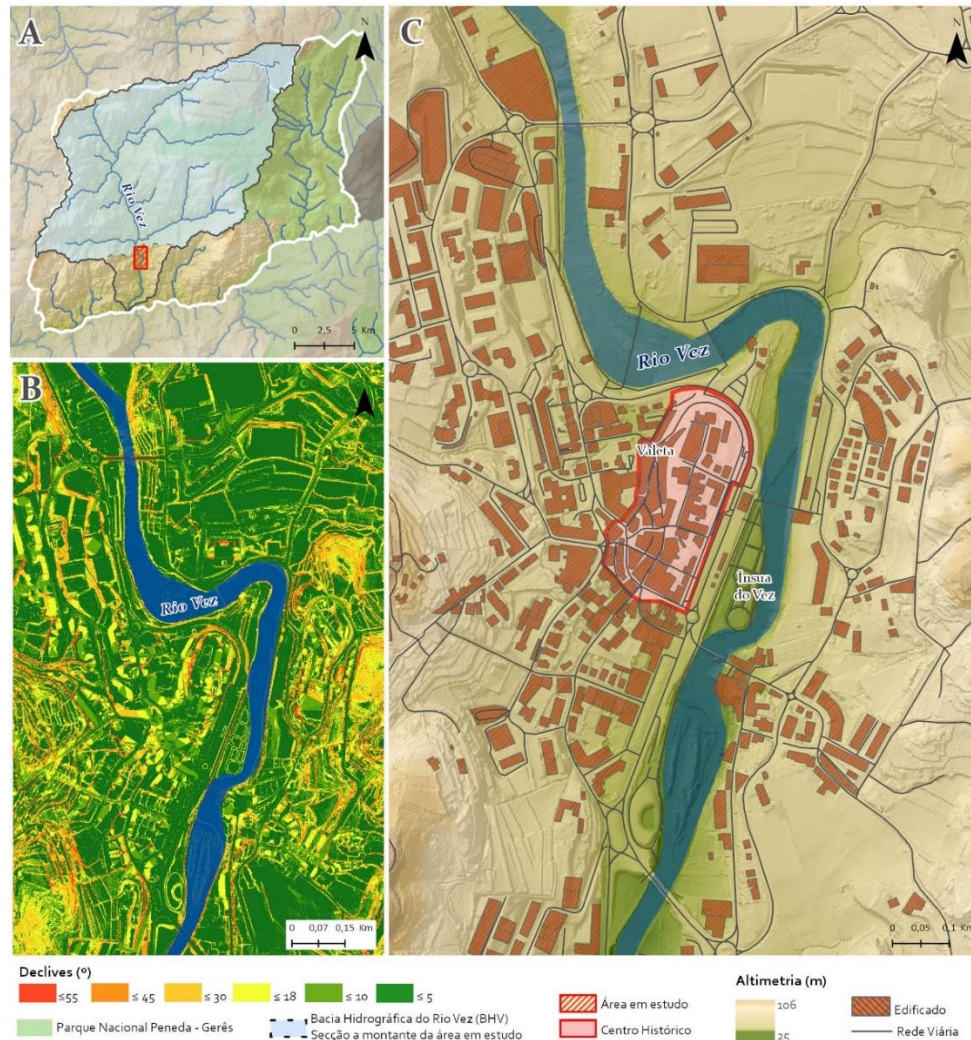


Figura 7- A. Enquadramento da área específica de estudo (AEE) na bacia hidrográfica do Rio Vez; B. Declives, em graus, da AEE; C. Edificado e Rede Viária existente na AEE (USGS, 2021; DGT, 2019; OpenStreetMap, 2021; CIM Alto Minho, s/d).

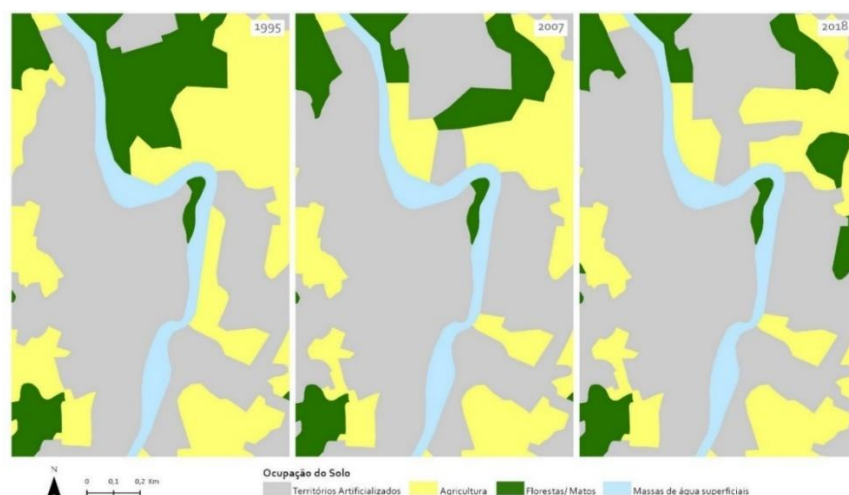


Figura 8- Ocupação do solo, em 1995, 2007 e 2008 na AEE (Fonte: DGT, 1955, 2007 e 2018).

Tabela 1- Ocupação do solo em percentagem, em 1995, 2007 e 2008 na AEE (Fonte: DGT, 1955, 2007 e 2018).

	%	1995	2007	2018	1995-2018
Territórios Artificializados		48,44	58,33	59,90	+
Agricultura		29,69	22,92	21,35	-
Floresta/Matos		15,10	11,98	11,46	-
Massas de água superficiais		6,77	6,77	6,77	=

Através da modelação hidráulica em *software* Iber e recorrendo a um MDT detalhado, obtido através de tecnologia LIDAR, pretende-se identificar quais as áreas inundáveis no centro da vila de Arcos de Valdevez. Para além de identificar as áreas inundáveis, o presente artigo tem como objetivo, demonstrar as vantagens da tecnologia LIDAR na realização de modelação hidráulica, face a modelos digitais de terreno convencionais.

3. Histórico de episódios de cheia em Arcos de Valdevez

Desde 1900 a 2015, registaram-se 125 eventos de cheias, segundo o inventário realizado por Gonçalves (2018). Este inventário foi realizado tendo como base uma pesquisa exaustiva em periódicos locais (em cerca de 300 edições), como o jornal “Notícias de Arcos”, o “Vanguarda” e o “Concórdia” (Gonçalves, 2018). Segundo o inventário, 77% dos eventos ocorreram no curso principal do Rio Vez, 19% nos afluentes e 40% em ambos (Gonçalves, 2018). Ressalvando ainda, que 11% dos eventos ocorreram em simultâneo na bacia hidrográfica (BH) do rio Vez e do rio Lima, existindo assim repercussões no escoamento do rio Vez, devido aos acontecimentos a jusante (Gonçalves, 2018).

Perante tais eventos, foram registadas 970 ocorrências, sendo o valor máximo anual registado igual a 84 ocorrências, no ano de 1929 (Gonçalves, 2018). Cerca de 79% das ocorrências foram localizadas de forma exata, tendo a sua maioria ocorrido em vias de comunicação ou pontes, os restantes 21% foram associadas ao centroide do Concelho, por inexistência de informações detalhadas (Gonçalves, 2018).

A distribuição das ocorrências a nível da freguesia, foram superiores em “Arcos de Valdevez São Salvador e São Paio, Vila Fonche, Parada e Giela, totalizando 236 ocorrências” (Gonçalves, 2018), “onde a densidade populacional e concentração de edifícios são mais elevadas” (Gonçalves, 2018).

“As consequências resultantes das cheias repercutiram nas pessoas, nas construções públicas, nas construções privadas e no ambiente” (Gonçalves, 2018). As consequências mais onerosas, foi a ocorrência de 7 óbitos, o condicionamento de acesso a bens de primeira necessidade (abastecimento de água, alimentação e acesso ao alojamento), destruição parcial/total de vias de comunicação (entre elas, pontes) e danos em habitações, explorações agrícolas, comércio e indústrias (Gonçalves, 2018).

Onde se registou um nº significativo de danos, foram nas vias de comunicação (estradas e pontes) do concelho e nos açudes existentes ao longo do curso de água. No centro histórico da vila de Arcos de Valdevez, o lugar da “Valeta” e a Ínsua do Vez são os locais que constam frequentemente nas publicações dos periódicos (Gonçalves, 2018).

Devido ao elevado nº de eventos, foram realizadas até ao ano de 2015 cerca de 1452 intervenções humanas, com o intuito de diminuir a suscetibilidade da população ao risco natural. A maioria das intervenções ocorreu em vias de comunicação, em operações relacionadas com o reabastecimento de água, e na realização de novas infraestruturas (Gonçalves, 2018).

Com base no inventário supramencionado, no centro histórico de Arcos de Valdevez, o lugar da Valeta e a Ínsua do Vez foram os locais mais mencionados. Sendo possível aferir, que os locais em questão foram os mais fustigados pelo risco natural, bem como as áreas envolventes, como retrata a tabela 2 e a figura 9.

Tabela 2- Principais cheias ocorridas na Vila de Arcos de Valdevez, com as respetivas precipitações diárias (mm), caudal (m³/s) e consequências (Gonçalves, 2018).

Ano	Local	Caudal - m³/s (Estação de Pontilhão de Celeiros)	Precipitação diária – mm (Estação de Casal Soeiro)	Consequências
1981	Ínsua	101	55,5	2 mortes
1987	Valeta	162,2	149	Inundação do 1º andar
1994	Valeta	-	142,6	Inundação do 1º andar
1999	Valeta	-	145	Inundação do 1º andar



Figura 9- Marcas da altura das principais cheias no lugar da Valeta, Arcos de Valdevez. A- Cheia de 1999; B- Cheia de 1987 (Gonçalves, 2014).

Metodologia

Na realização do presente artigo, inicialmente efetuou-se uma exaustiva recolha bibliográfica sobre a temática. De seguida e com base na bibliografia analisada, procedeu-se à aquisição de dados e elementos cartográficos necessários.

Os dados supramencionados referem-se à população residente, aos valores da precipitação e aos valores dos caudais do Rio Vez, provenientes da estação meteorológica de Casal Soeiro (02G/09G) e da estação hidrométrica de Pontilhão de Celeiros (02G/01H), respetivamente.

Os elementos cartográficos necessários para a execução da cartografia explicativa, consistiram em informações altimétricas, provenientes da cartografia militar, da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e dados provenientes de tecnologia LIDAR (Light Detection And Ranging) e em dados vetoriais referentes aos limites administrativos, à ocupação do solo, à geologia e à precipitação.

Tabela 3- Materiais utilizados e as respetivas fontes.

Dados	Período de referência	Fonte	Tipologia
População Residente	2011	INE	Tabular
Precipitação	1990 a 2001	SNIRH	Tabular
Caudais	1960 a 2007	SNIRH	Tabular
Elementos Cartográficos	Período de referência	Fonte	Tipologia
Cartas Militares 1:25000			
Nº 8	2014	IGEOE	Raster
Nº 9, 15, 16, 17, 29	2015		
SRTM 30m	2021	USGS	Raster
LIDAR 50cm	s/d	CIM Alto Minho	LAS
CAOP	2019	DGT	Vetorial
Espanha	2020	DivaGIS	Vetorial

COS	2018	DGT	Vetorial
Geologia 1:50000			
Folhas:			
1C	1962	LNEG	Raster
1B	1985		
5B	1974		
Precipitação	1977	Daveau, S.	Vetorial
Edificado	2021	OpenStreetMap	Vetorial
Rede Viária	2021	OpenStreetMap	Vetorial

De seguida, a partir das informações altimétricas adquiridas, elaboraram-se 3 modelos digitais de terreno. Através destes, foi possível aferir o declive das vertentes (em graus), a exposição das vertentes face à incidência dos raios solares, a delimitação da bacia hidrográfica e a delimitação da rede hidrográfica do rio Vez. Por fim, em ambiente ArcGIS Pro concluiu-se a cartografia temática, presente nas diversas figuras ao longo deste artigo.

Com os dados referentes à precipitação diária máxima anual, primeiramente, calculou-se a altura máxima da precipitação (mm), para um dado período de retorno (1), e de seguida, calcularam-se os caudais de ponta de cheia em m³/s (Q_p), recorrendo à fórmula de Loureiro, para um período de retorno de 100 anos, e à fórmula de Giandotti, para períodos de retorno iguais a 2, 10, 20, 50, 100 e 500 anos (tabela 4).

$$h = \bar{x} - 0,78 \times \sigma \times \left(LN \left(\frac{LN((Pr+1))}{Pr} \right) \right) + 0,577 \quad (1)$$

h = Altura máxima da precipitação (mm);

\bar{x} = Média dos valores máximos da precipitação, num certo período;

σ = Desvio padrão dos valores máximos da precipitação, num certo período;

LN = Logaritmo natural;

Pr = Período de retorno (anos);

0,78 e 0,577 = Valores constantes.

Tabela 4- Fórmulas utilizadas no cálculo caudais de ponta de cheia em m³/s (Fonte: Lencastre et al. 2010).

Autor	Fórmula	Designação
J. Loureiro	$Q_p = CA^Z$	C – é um parâmetro regional. A^Z – A = Área da bacia em km ² ; – Z é um parâmetro regional.
Giandotti	$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,80\sqrt{H}}$	tc – Tempo de concentração em horas; A – Área da bacia em km ² ; L – Comprimento do Rio em km; H – Altura média da bacia em metros (medida a partir da altura da seção considerada).
	$Q_p = \frac{\lambda Ah}{tc}$	λ – Parâmetro em função da área; A – Área da bacia em km ² ; h – Altura da precipitação máxima em mm; tc – Tempo de concentração em horas.

Na área específica de estudo, existem diversas pontes, estas infraestruturas no MDT e posteriormente no software Iber, produzem efeito “barreira” à transgressão da água. Após a avaliação das estruturas inferiores das diversas pontes (pilares, etc), concluiu-se que apenas a “Ponte da Vila” (figura 10), detinha influência considerável no caudal. Posto isto, modelou-se

aproximadamente a “Ponte da Vila” (figura 11), com recurso ao *Google Earth*, e “retirou-se” as restantes do modelo.



Figura 10- Ponte da Vila (CMAV, 2021).

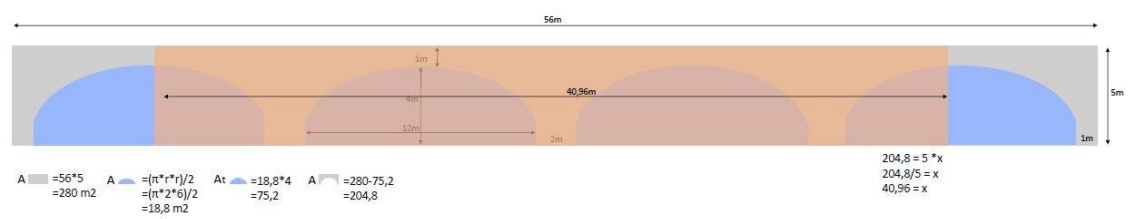


Figura 11- Modelação da "Ponte da Vila".

Após a finalização da modelação da “Ponte da Vila” e da correção do MDT, procedeu-se à modelação hidráulica recorrendo ao *software* IBER 2.5, tal como explicita a figura 12.

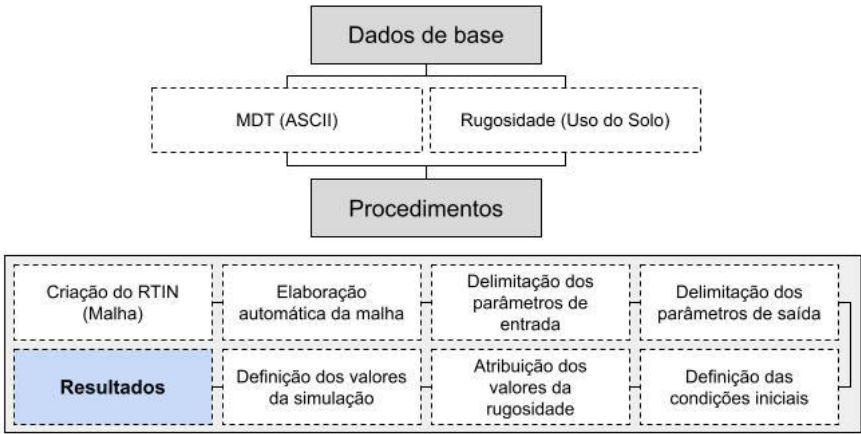


Figura 12- Metodologia realizada em âmbito do software Iber.

Após a modelação hidráulica e com o intuito de identificar os possíveis danos no património edificado, procedeu-se à vectorização das edificações que não constavam na base de dados do *OpenStreetMap*.

Resultados e Discussão

Após o cálculo dos caudais de ponta de cheia, recorrendo à fórmula de Loureiro e de Giandotti, presentes na tabela 5 e 6, respetivamente, procedeu-se à modelação hidráulica, recorrendo ao software *Iber*.

A figura 14, expressa a diferença entre os resultados provenientes da utilização da fórmula de Loureiro e da fórmula de Giandotti, para um período de retorno de 100 anos, tendo como base o mesmo MDT, resultante da tecnologia LIDAR (com resolução espacial de 2m).

Em termos de área inundável, a diferença é diminuta, a metodologia de Loureiro regista 0,47km², enquanto a metodologia de Giandotti regista 0,51km².

No que concerne aos valores máximos da coluna de água, os valores registados nas duas metodologias, diferem pouco entre si, a coluna de água, segundo “Giandotti” pode atingir os 9,5m e segundo “Loureiro” 8,7m. Relativamente, à distribuição das áreas inundáveis no espaço, as áreas resultantes das duas metodologias, distribuem-se de igual forma, assinalando as mesmas espacialidades, como áreas preocupantes.

Tabela 5- Cálculo dos caudais de ponta de cheia, segundo Loureiro, para um período de retorno de 100 anos.

$Q_p = CA^Z$	$C = 10,98$ $A^Z - A = 244,3 \text{ km}^2; Z = 0,694$	$Q_p = 1861,87$
--------------	--	-----------------

Tabela 6- Determinação do tempo de concentração e a fórmula de cálculo dos caudais de ponta de cheia, segundo Giandotti.

$tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,80\sqrt{H}}$	$A = 244,3 \text{ km}^2;$ $L = 34,6 \text{ km};$ $H = 517,9 \text{ m}.$	$tc = 6,28 \text{ h}$ Tempo de concentração em horas.
$Q_p = \frac{\lambda Ah}{tc}$	$\lambda = 0,346;$ $A = 244,3 \text{ km}^2;$ h – Altura da precipitação máxima em mm (tabela 7); $tc = 6,28 \text{ h}$	Q_p em m ³ /s (tabela 8)

Tabela 7- Altura (h) da precipitação máxima (mm) para os seguintes períodos de retorno.

2	10	20	50	100	500
112,4	143,1	157,2	176,3	190,9	224,9

Tabela 8- Caudal de ponta de cheia para os seguintes períodos de retorno, com base na precipitação.

2	10	20	50	100	500
1543,4	1925,7	2116,4	2373,2	2569,2	3026,3

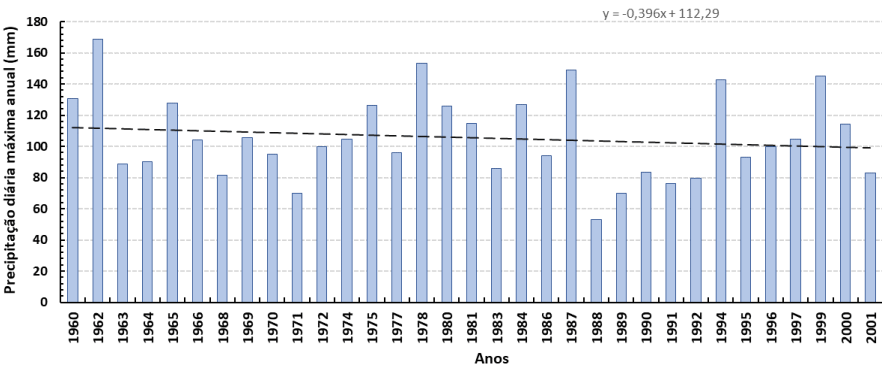


Figura 13- Precipitação diária máxima anual (mm), na estação meteorológica de Casal Soeiro (SNIRH, 2021).

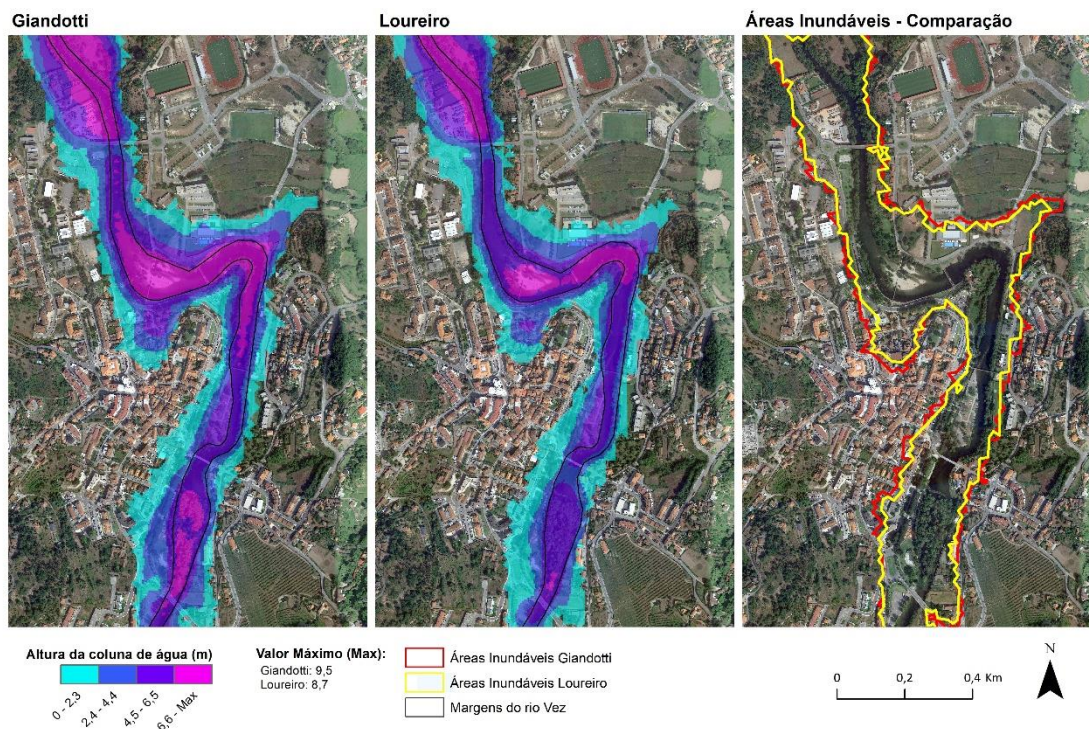


Figura 14- Delimitação e comparação das áreas inundáveis, segundo a metodologia de Giandotti e Loureiro (Fonte: CIM, s/d; SNIRH, 2021).

Por sua vez, a cartografia presente na figura 15, expressa as diferenças da utilização de diferentes MDT na realização da modelação hidráulica, para um período de retorno de 100 anos. Para a construção da presente cartografia, utilizou-se um MDT com 10m de resolução espacial, gerado a partir das curvas de nível provenientes da cartografia militar à escala 1/25000, e utilizou-se um outro com 2m de resolução espacial, proveniente da tecnologia LIDAR.

Analisando os resultados provenientes do MDT com 10m de resolução espacial, verifica-se que a delimitação das áreas inundáveis acompanha, de forma perfeita, a silhueta das margens do rio Vez, não demarcando áreas excepcionais.

Por sua vez, ao analisar os resultados provenientes do MDT com 2m de resolução espacial, denota-se que as áreas inundáveis são demarcadas de forma mais detalhada e irregular, face ao comportamento das margens do rio. Destacando-se na margem direita o lugar da Valeta como área inundável, e na margem esquerda, abrange uma planície no sopé da elevação de Penacova (figura 17). No que concerne à dimensão das áreas inundáveis, a diferença é mínima, do MDT com 10m de resolução resultam 0,55km² de áreas inundáveis e do MDT com 2m de resolução resultam 0,51km².

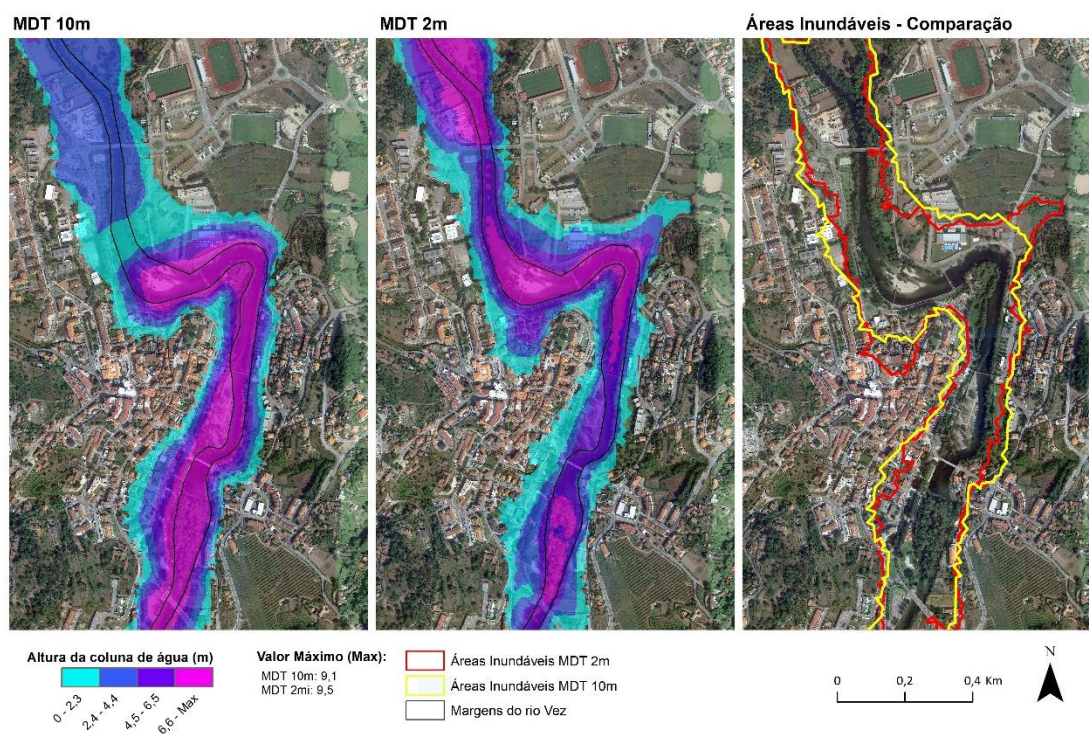


Figura 15- Delimitação e comparação das áreas inundáveis, utilizando diferentes MDT's (10m e 2m de resolução espacial (Fonte: CIM, s/d; IGEOE, 2014 e 2015; SNIRH, 2021).

Relativamente ao período de recorrência (período de retorno) dos episódios de cheia, é importante aferir qual a variabilidade da incidência no espaço face ao período de retorno. Tal como demonstra a figura 16, as áreas afetadas são análogas. Para um período de retorno de 10 anos, a área afetada equivale a $0,46\text{km}^2$, por sua vez, quando o período de retorno ascende para os 50 anos, a área afetada corresponde a $0,49\text{km}^2$, e por fim, as áreas inundáveis para um período de retorno igual a 100 anos abrangem $0,51\text{km}^2$.

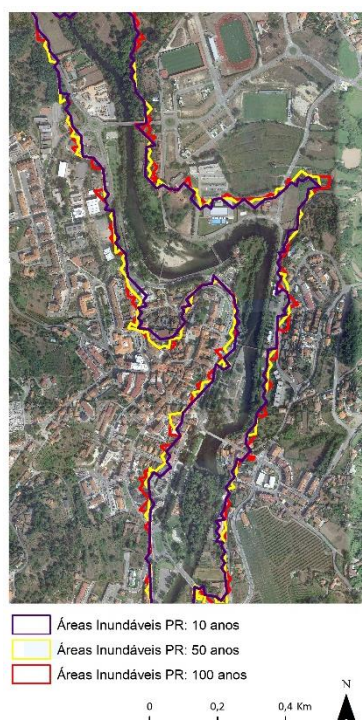


Figura 16- Comparação da distribuição das áreas inundáveis, para os seguintes períodos de retorno (PR): 10, 50 e 100 anos (Fonte: CIM, s/d; SNIRH, 2021).

Na figura 17 é possível quantificar o edificado abrangido pelas áreas possivelmente inundáveis, bem como a rede viária. Pela positiva, destaca-se o Centro Histórico de Arcos de Valdevez que quase é inatingido pelas áreas inundáveis.

Em suma, independentemente do método, Loureiro ou Giandotti, a área inundável (km²) e a altura da coluna de água (m), apresentam valores similares. Desta forma, a metodologia de Giandotti assume-se como a metodologia preferencial, uma vez que utiliza dados reais da precipitação, apresentando maior fiabilidade e adaptabilidade. A metodologia de Loureiro, por apresentar valores similares a Giandotti, demonstra ser, para a área em estudo, bastante confiável, mesmo sendo um método estatístico.

No concerne ao tamanho da célula do MDT, conclui-se que quanto menor for o tamanho da célula, os resultados obtidos serão mais precisos e detalhados. Realçando que, no ordenamento do território o detalhe (o tamanho do pixel) deve ser o mais específico possível, uma vez que sempre que é tomada uma decisão, esta incidente fortemente sobre as populações, sendo assim, a margem de erro deve ser o mais reduzida possível.

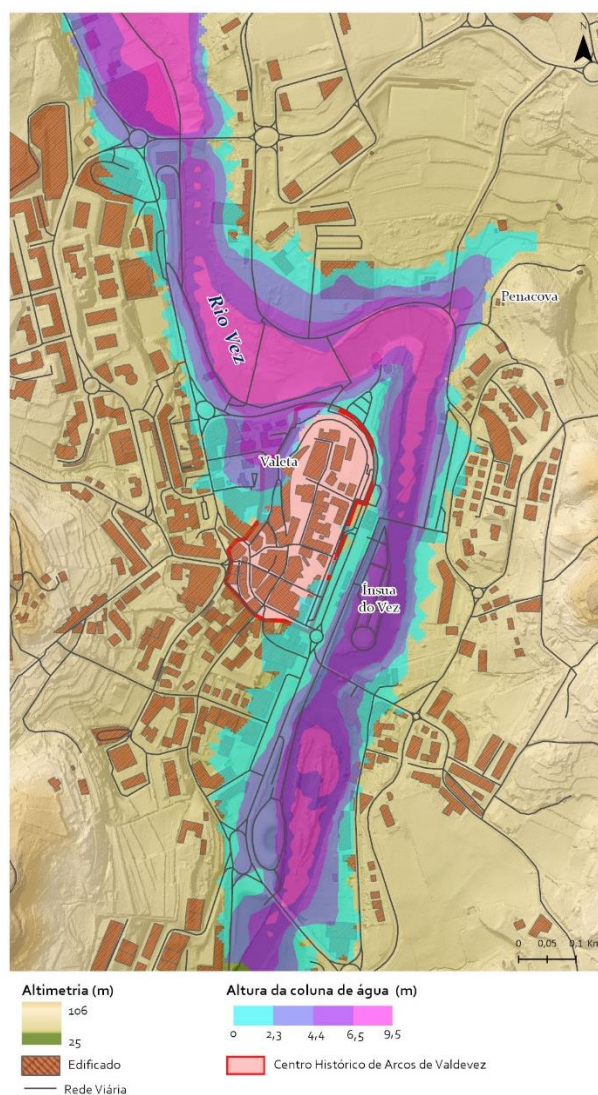


Figura 17- Áreas inundáveis, segundo a metodologia de Giandotti, para um período de retorno de 100 anos, recorrendo ao MDT com 2m de resolução espacial (Fonte: CIM, s/d; SNIRH, 2021).

Referências Bibliográficas

- Gonçalves, M. (2018). As Cheias Na Bacia Hidrográfica Do Rio Vez Durante Os Séculos Xx E Xxi E A Sustentabilidade (Tese de Doutoramento). Universidade Aberta.
- Instituto Nacional de Estatística. (2021). Retirado a 1 de março de 2021, de https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos_quadros.
- Lencastre, A., & Franco, F. (2010). Lições de Hidrologia. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Martins, M. (2017). O risco de cheias na cidade de Amarante: Cartografia de áreas inundáveis recorrendo à modelação hidráulica (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Moreira, A., & Simões, M. (1988). Notícia Explicativa Da Folha 1-D Arcos De Valdevez [Ebook]. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Ramos, C. (2013). Perigos Naturais Devidos A Causas Meteorológicas: O Caso Das Cheias E Inundações [PDF].
- Renovação Urbana Do Centro Histórico De Arcos De Valdevez. (1997). Retirado a 13 de abril de 2021, de <https://www.dgterritorio.gov.pt/ordenamento/sgt/igt-vigor>

Rocha, J. O Risco Das Inundações E A Sua Gestão. Uma Visão Nacional E Uma Visão Europeia [PDF]. APRH.

Rio Vez. (2021). Retirado a 1 de abril de 2021, de https://www.cmav.pt/pages/1490?poi_id=470

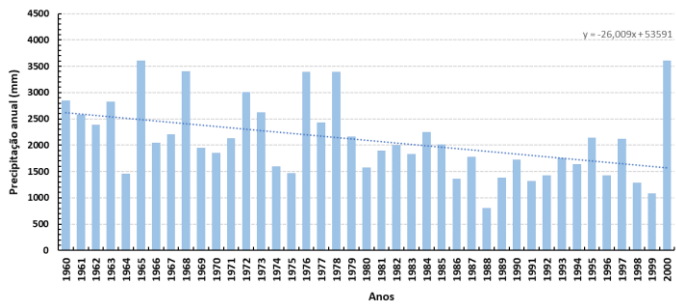
Young, A., & Clayton, K. M. (1972). Slopes. Longman.

Zêzere, J., Pereira, A., & Morgado, P. Perigos Naturais E Tecnológicos No Território De Portugal Continental [PDF].

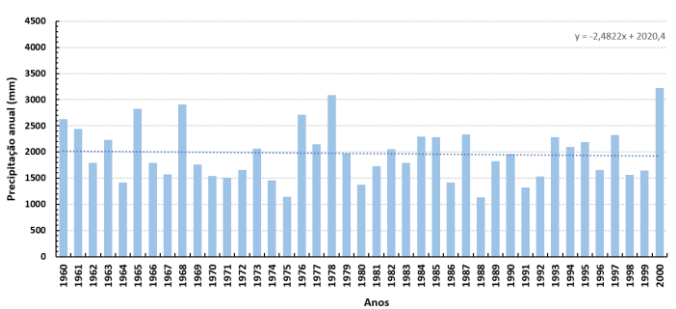
Materiais suplementares

Precipitação anual

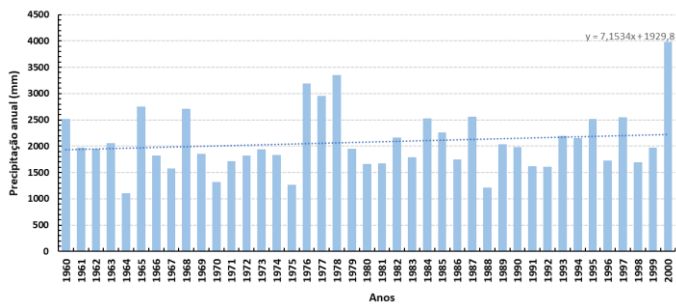
Sistelo



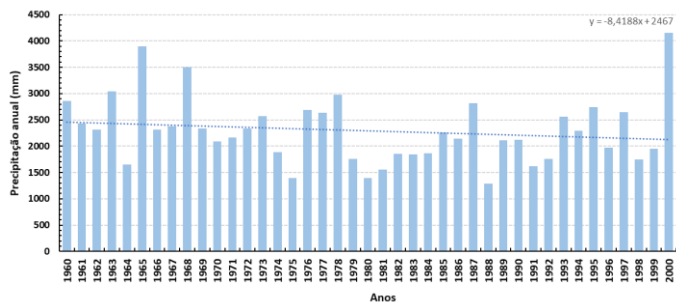
Casal Soeiro



Cabreiro

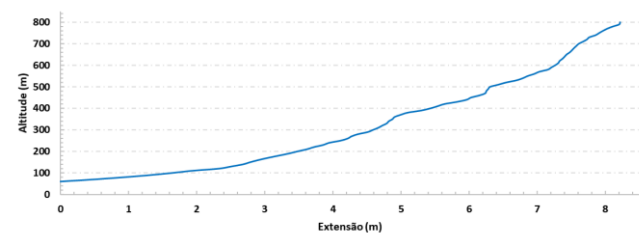


Extremo

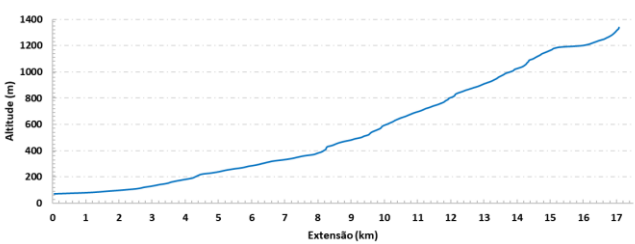


Perfis Longitudinais

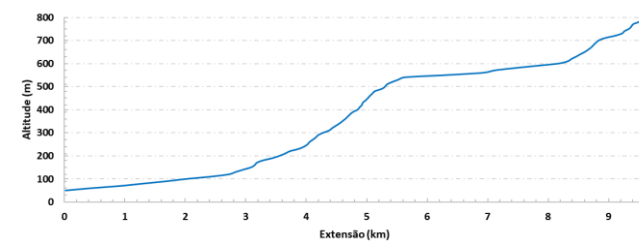
Ribeiro de Frades



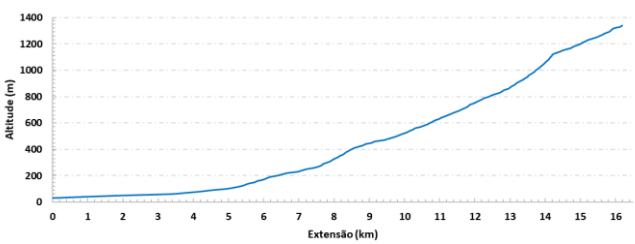
Rio Cabreiro



Rio São Mamede



Rio Ázere



Rio Frio

