

RESILIÊNCIA DE PASSAGENS HIDRÁULICAS EM SITUAÇÕES EXTREMAS: DESAFIO PARA A ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

André Sarmento¹; Mário Gonzalez Pereira^{2/3}; Luis Fernandes^{2/4}; Luís da Silva⁵; Paulo Barreto⁵

¹ Egis Road Operation Portugal, Departamento do Património, Quinta de Calvilhe, 5100-038 Lamego, Portugal
email: andre.sarmento@egisportugal.pt

² Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, Ed. dos Blocos Laboratoriais Sala C1.10, 1º Piso, 5001-801 Vila Real, Portugal

³ Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande Edifício C1, Piso 1, 1749-016 Lisboa, Portugal

⁴ Departamento de Engenharias, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5001-801 Vila Real, Portugal

⁵ Egis Road Operation Portugal, Departamento do Património, Quinta de Calvilhe, 5100-038 Lamego, Portugal

Sumário

Este trabalho consiste na avaliação das alterações no regime de precipitação extrema em Portugal, e consequente impacto tanto nos projetos de engenharia como na gestão de ativos existentes, nomeadamente passagens hidráulicas em vias de comunicação. Foi efetuada uma análise comparativa entre processos de dimensionamento realizados com os parâmetros das curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) das três regiões pluviométricas referidas no Decreto-Regulamentar n.º 23/95 e com os parâmetros das curvas IDF ajustadas ao cenário de distribuição espaço-temporal da precipitação projetada, considerando o passado recente e cenários de clima futuro.

Palavras-chave: Alterações climáticas; adaptação; passagens hidráulicas; ciclo de vida; precipitação extrema.

1 INTRODUÇÃO

Em Portugal, o dimensionamento de passagens hidráulicas é baseado nas curvas de intensidade-duração-frequência (IDF), em conformidade com a legislação em vigor, nomeadamente o Decreto-Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto (DR 23/95). O DR 23/95 estabelece três regiões pluviométricas em Portugal, definindo, para cada uma destas, os valores dos parâmetros das curvas IDF a considerar na determinação da intensidade de precipitação utilizada no dimensionamento dos órgãos de drenagem. O DR 23/95 tem vindo a ser utilizado no pressuposto da estacionariedade do regime de precipitação. Não obstante, a variabilidade da distribuição espaço-temporal da precipitação observada nas últimas décadas não demonstra suportar as regiões definidas pelo DR 23/95.

As alterações climáticas projetadas para o futuro, indiciam também que as características da precipitação irão sofrer alterações, especialmente em termos de intensidade e frequência dos eventos de precipitação extrema [1-2]. A precipitação apresenta variabilidade espacial incompatível com as regiões pluviométricas definidas no DR 23/95. Estes cenários sugerem que as características dimensionais das estruturas hidráulicas atualmente existentes possam estar ou vir a estar desajustadas. Assim, esta persistente mudança requer uma avaliação do impacto dos eventos extremos no dimensionamento de obras hidráulicas e uma avaliação das curvas IDF presentes no DR 23/95.

Segundo um relatório do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas sobre os impactos do aquecimento global de 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais [1], existem mudanças na evapotranspiração e no regime de precipitação. Na Figura 1 é apresentada a alteração na precipitação média devido a este aquecimento

global de 1,5 °C, verificando-se na Europa um aumento da precipitação média na região mais a norte e uma redução na região mais a sul.

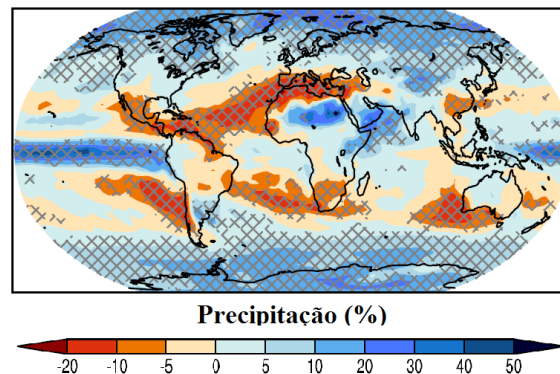


Fig. 1 - Mudança da precipitação média com o aquecimento global de 1,5 °C (adaptado de Hoegh-Guldberg et al. [1])

A precipitação é um dos elementos climáticos mais difíceis de modelar, levando a que a sua simulação seja afetada por uma maior incerteza. Desta forma, os estudos sobre alterações climáticas, baseados em projeções dos modelos de circulação atmosférica, têm de lidar com as dificuldades associadas às deficiências dos modelos climáticos em estimar acontecimentos futuros [2].

Para este estudo foram utilizados dados simulados para avaliar eventuais alterações climáticas. De referir, que não existem séries temporais de valores observados suficiente longas para assegurar a robustez dos resultados. Para além disso, estas também não são em número suficientemente grande para garantir uma densidade espacial adequada de modo a cobrir a generalidade do território continental. Deste modo, optou-se por reanálises disponibilizadas em rede. Assim, na realização do presente trabalho foram utilizados dados de precipitação obtidos a partir da base de dados EURO-CORDEX, *Coordinated Downscaling Experiment - European Domain*.

O objetivo deste estudo é avaliar as potenciais alterações no regime de precipitação intensa em Portugal e as suas possíveis consequências em futuros projetos de engenharia, nomeadamente no dimensionamento de passagens hidráulicas (PH) em vias de comunicação.

A principal contribuição deste documento é a avaliação do impacto das alterações climáticas nos parâmetros climáticos e a definição de novas curvas IDF. Posteriormente ao tratamento e correção dos dados, foi possível quantificar e avaliar as alterações no regime de precipitação intensa, sendo calculados os novos valores dos parâmetros das curvas IDF. Estes novos valores foram utilizados para realizar o dimensionamento de duas PH localizadas em três pontos, correspondentes a cada uma das diferentes regiões definidas pelo DR 23/95. Assim, foi possível verificar o impacto que as alterações climáticas expectáveis irão provocar no valor da altura da lâmina de água na secção de cada PH e, consequentemente, verificar se as obras realizadas no passado poderão apresentar deficiências de dimensionamento no futuro próximo, bem como perceber como deverão ser avaliados os parâmetros climáticos para o dimensionamento de obras futuras.

Para além das vantagens dos resultados deste estudo para os futuros dimensionamentos de obras hidráulicas, este será especialmente importante na gestão de ativos existentes, permitindo tomar as melhores decisões ao longo do ciclo de vida destas estruturas.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo e dados

A componente climatológica deste estudo foi realizada para todo o território de Portugal Continental, portanto, nas três regiões pluviométricas definidas no DR 23/95. Contudo, os exercícios de aplicação ao projeto de engenharia

civil foram aplicados em pontos específicos. Estes pontos foram escolhidos de modo a que, por um lado, estivessem distribuídos pelas três diferentes regiões pluviométricas e, por outro lado, se encontrassem em locais onde, atualmente, não existem estradas.

Um dos pontos escolhidos localiza-se no concelho de Aveiro, que, de acordo com o DR 23/95, para efeitos de dimensionamento está situada na região pluviométrica A. Segundo a classificação climática de Köppen e Geiger [3], Aveiro tem um tipo de clima temperado, com mais pluviosidade durante o Inverno, temperatura média anual do ar de 14,9 °C e pluviosidade média anual de 1027 mm. A precipitação média é de 12 mm, no mês mais seco (julho), e de 142 mm, no mês mais húmido (janeiro). A temperatura do ar é de 19,3 °C, no mês mais quente (agosto) e de 9,9 °C, no mês mais frio (janeiro) [4].

O segundo ponto escolhido está situado no concelho de Vila Real, que de acordo com o DR 23/95 para efeitos de dimensionamento localiza-se na região pluviométrica B. De acordo com Köppen e Geiger [3], Vila Real possui um clima quente e temperado, com temperatura média anual de 14,0 °C e pluviosidade média anual de 1131 mm. O mês mais seco é julho, com uma média de 12 mm de precipitação, e janeiro o mês mais húmido com 168 mm de precipitação média mensal. O mês de julho é também considerado o mais quente do ano, com temperatura média de 21,7 °C enquanto janeiro é o mês mais frio, com temperatura do ar média mensal de 6,8 °C [4].

O terceiro ponto escolhido encontra-se no concelho de Lamego, que de acordo com o DR 23/95 para efeitos de dimensionamento, localiza-se na região pluviométrica C. Com um clima quente e temperado [3], a temperatura média anual é de 13,6 °C e a pluviosidade média anual é de 1194 mm. O mês de julho é o mais seco, apresentando uma precipitação média de 12 mm, e o mês de maior precipitação é janeiro, com uma média de 179 mm. Em relação à temperatura, julho é também o mês mais quente do ano, apresentando uma temperatura média de 21,3 °C, e janeiro o mês mais frio, com uma temperatura média de 6,6 °C [4].

Os dados de precipitação diária simulados e utilizados neste trabalho são provenientes da base de dados EURO-Cordex [5]. Esta base de dados é frequentemente utilizada para estudos climáticos, incluindo estudos de eventos extremos, nomeadamente estudos de ondas de calor, seca e precipitações extremas um pouco por todo o mundo, especialmente na Europa e em Portugal [6].

Os modelos climáticos têm limitações inerentes às características do Sistema Climático (SC), nomeadamente a natureza não linear das equações que regem o estado da Atmosfera, as simplificações realizadas nas equações, as parametrizações, os processos em falta, imperfeitos ou simplificados, bem como representação das condições de fronteira laterais e iniciais. Desta forma, as simulações do passado e do futuro surgem frequentemente afetadas por viés e outros erros que importa corrigir. Por esta razão, foram selecionadas as simulações regionais da CORDEX-ADJUST (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*) do projeto DataSet [7] para avaliar as diferenças potenciais nas ocorrências de precipitação e características para cenários climáticos futuros, pois estes dados sofreram um processo de correção do viés. O projeto CORDEX-ADJUST contém um subconjunto de simulações EURO-CORDEX (*European-CORDEX*) disponível para as *Representative Concentration Pathways (RCP)* 4.5 e 8.5 [8]. A iniciativa EURO-CORDEX é uma das 15 partes do CORDEX global, que prevê projeções climáticas regionais para a Europa com 50 km (EUR-44) ou 12 km (EUR-11) de resolução [9-10]. As simulações regionais são um *downscaling* físico do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)*, sendo projeções climáticas globais. Neste estudo, utilizam-se simulações de viés ajustadas, para o domínio CORDEX EUR-11.

As projeções para o futuro são criadas utilizando os modelos de circulação geral, que consideram em diferentes cenários no que diz respeito à concentração de CO₂ na atmosfera (RCP). Estes cenários apresentam diferentes trajetórias no que diz respeito à concentração de gases de efeito de estufa na atmosfera. Cada cenário RCP contém um conjunto de valores iniciais e até ao ano 2100, com base em suposições sobre atividade económica, fontes de energia, crescimento populacional e outros fatores socioeconómicos [11]. Neste estudo foram analisados dois cenários, o *RCP4.5* que prevê um futuro em que as emissões atingem o seu pico em 2040 e depois estabilizam, sendo que estabiliza o forçamento radiativo a 4,5 W/m² no ano de 2100 sem exceder esse valor [12], e o *RCP8.5* que assume que as emissões de gases continuam a aumentar, ou seja, representa o cenário mais elevado em termos de emissões, levando a um forçamento radiativo de 8,5 W/m² [12].

Em resumo, foram analisados dados de precipitação diária para vários períodos climatológico (30 anos), nomeadamente para o período de controlo (1981-2010) e para cinco períodos climatológicos consecutivos (2021-2050, 2031-2060, 2041-2070, 2051-2080 e 2061-2090), tanto para o cenário *RCP4.5* como para o cenário *RCP8.5*, simulados por seis pares diferentes de modelos GCM/RCM.

2.2 Desagregação da precipitação

O presente estudo requer dados de intensidade de precipitação máxima para um conjunto de durações, nomeadamente, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 6 h, 12 h, 24 h e 48 h. Recorreu-se a métodos de agregação e desagregação para estimar os valores de intensidade de precipitação pretendidos para as durações referidas. A base de dados do EURO-CORDEX facultou dados de precipitação acumulada em períodos de 24 h, pelo que se efetuou a soma dos valores de intensidade de precipitação de dois dias consecutivos para obter os valores de intensidade de precipitação para a duração de 48 h. O processo de desagregação da precipitação diária pretende obter valores de intensidade de precipitação máxima para períodos sub-diários. Para a obtenção dos valores da intensidade de precipitação para 1 h, 2 h, 6 h e 12 h, recorreu-se ao método proposto por Brandão et al. [13] que compreende as seguintes fases:

- Cálculo dos valores de intensidade de precipitação máxima anual para a duração de 24 h;
- Aplicação da relação entre a precipitação de 1 h e de 24 h para períodos de retorno de 100 anos, aos valores máximos de precipitação diário, obtendo-se assim valores para as durações de 1 h;
- Soma da precipitação de 1 h de forma a obter valores para períodos de 2 h, 6 h e 12 h.

Para a desagregação da precipitação horária em sub-horária dos dados simulados, foram também aplicados os coeficientes de desagregação respetivos propostos por Brandão et al. [13]. Estes foram obtidos a partir da leitura dos valores representados nos mapas de isolinhas das relações associadas ao percentil 50% entre precipitações de 5 min/h, 10 min/h, 15 min/h, 30 min/h. Todo este processo foi aplicado para cada célula da malha das bases de dados. Obtiveram-se as séries temporais dos valores de intensidade de precipitação máxima para as diferentes durações.

2.3 Determinação das curvas IDF

A metodologia utilizada neste estudo para a determinação das curvas IDF é baseada em Brandão et al. [13] e descrita em Pereira et al. [14]. Em suma, compreende: (i) o ajuste da função de distribuição de probabilidade extrema do tipo I (lei de Gumbel) à série temporal anual de intensidade máxima de precipitação para cada uma das dez durações; (ii) a linearização e posterior análise de regressão entre os valores do logaritmo da intensidade da precipitação I (em mm/h) para cada período de retorno em função do logaritmo da duração da chuva t (em min), para estimar os valores dos parâmetros IDF a e b , por regressão linear,

$$\log I = \log(a) + b \times \log(t) \quad (1)$$

Em geral, os modelos climáticos globais e regionais não são capazes de reproduzir com precisão a realidade pelo que introduzem um viés nas séries temporais das variáveis meteorológicas simuladas. Apesar de terem sido selecionados dados com correção do viés, a metodologia adotada inclui um procedimento para corrigir o viés no regime de precipitação. Frequentemente, o processo é baseado na determinação do fator de correção do viés entre dados observados e simulados para os cenários climáticos (*RCP4.5* e *RCP8.5*, neste caso) para o período de controle e utilizando esse fator de correção para corrigir as simulações para os períodos/cenários futuros [15]. Desta forma, neste estudo o processo de correção do viés utilizado consistiu em fazer igualar os parâmetros a e b obtidos pelo método de regressão robusta para os cenários *RCP4.5* e *RCP8.5* com os valores de a e b propostos por Matos e Silva [16]. Para o parâmetro a , o fator corretivo é o resultado da diferença entre o logaritmo do parâmetro a estimado para o período de controlo do cenário *RCP4.5*, e o logaritmo do parâmetro a presente no DR 23/95 de 23 de agosto:

$$\Delta a = \log_{10} a_{ref} - \log_{10} a_{Matos e Silva} \quad (2)$$

Para o parâmetro b , o fator corretivo resulta da razão entre o parâmetro b associado ao cenário *RCP4.5* e o parâmetro b resultante do estudo de Matos e Silva [16]:

$$\Delta b = \frac{b_{ref}}{b_{Matos e Silva}} \quad (3)$$

Posteriormente aplicam-se os fatores corretivos aos parâmetros a e b para o cenário $RCP4.5$ da seguinte forma:

$$a_{rcp4.5corrigido} = 10^{\log_{10}(a_{rcp4.5-\Delta a})} \quad (4)$$

$$b_{rcp4.5corrigido} = \frac{b_{4.5}}{\Delta b} \quad (5)$$

Aplica-se de igual forma os fatores corretivos aos parâmetros a e b para o cenário $RCP8.5$, executa-se a correção do viés para todas as células da malha para Portugal Continental para os dados simulados.

2.4 Dimensionamento hidráulico de PH

Apesar de vários autores considerarem diversas áreas para as bacias, o comum é utilizar a fórmula racional satisfatoriamente, em bacias com áreas inferiores a 25 km² como estipula Lencastre e Franco [17]. Para o dimensionamento de PH foram consideradas as seguintes especificações:

- O caudal foi obtido pelo método racional [17]:

$$Q = C \times I \times A \times Ka \quad (6)$$

Onde Q é o caudal (m³/s), C o coeficiente de escoamento (adimensional), I é a intensidade de precipitação (mm/h), A é a área da bacia, e Ka o coeficiente de abatimento (adimensional).

- O método mais utilizado para dimensionamento hidráulico de passagens hidráulicas é o proposto pelo *U. S. Bureau of Public Roads* [18-19]. Este método tem sido utilizado pela Infraestruturas de Portugal, sendo também aconselhado pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) e pela *Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes* (SETRA). Uma descrição mais detalhada deste método pode ser facilmente encontrada, por exemplo em Ramos e Lencastre [20].

Neste estudo foram consideradas duas PH, para efeitos comparativos, designadas por PH1 e PH2, e que poderiam existir na rede viária portuguesa. Para o estudo, foram utilizados os valores fixados no Quadro 1, para o dimensionamento das duas PH nos três locais escolhidos. Esta decisão, foi tomada para se verificar o comportamento da mesma estrutura nas três regiões diferentes do DR23/95 e avaliar o dimensionamento da mesma estrutura tipo, variando apenas dados que são influenciados pelas potenciais alterações climáticas.

Quadro 1 - Características das PH consideradas para o estudo

	Área (km ²)	Comprimento da bacia (km)	Diferença de cotas da bacia (m)	Coeficiente de escoamento	Inclinação da PH (%)	Comprimento da PH (m)
PH1	0,06	0,15	20	0,35	1	54
PH2	0,3	0,6	43	0,35	1	42

No dimensionamento das PH com controlo à entrada, a altura de água pode ultrapassar o diâmetro da mesma. No entanto, devido a alguns fatores, tal como a distância entre o topo da PH e a plataforma, nem sempre é possível esta situação, pelo que se trata de uma condicionante desfavorável ao dimensionamento. Neste estudo implementou-se essa condicionante, não deixando que a altura da água ultrapasse o diâmetro da PH.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos em sequência da aplicação da metodologia selecionada e anteriormente descrita, tendo como objetivo avaliar o potencial impacto das alterações climáticas no dimensionamento de PH.

Os valores dos parâmetros a e b das curvas IDF obtidos pelo método do ajuste robusto para os três pontos localizados em cada uma das regiões pluviométricas, após a correção do viés (Quadros 2 e 3) revelam um aumento dos valores de a para os pontos localizados nas regiões A e B. No ponto localizado na região pluviométrica C, os valores do parâmetro a estimados para os cenários de clima futuro são menores que o valor do DR 23/95. Já nos valores de b , verifica-se uma igualdade em relação aos valores do DR 23/95 para todos os pontos selecionados.

Quadro 2 - Parâmetros a e b , para o período de retorno de 50 anos.

Cenário	Período	Região A (Aveiro)		Região B (Vila Real)		Região C (Lamego)	
		a	b	a	b	a	b
DR 23/95	Referência	349,54	-0,524	279,63	-0,524	419,45	-0,524
RCP 4.5	2021-2050	540,12	-0,524	331,75	-0,524	348,67	-0,524
	2031-2060	540,98	-0,524	364,48	-0,524	364,91	-0,524
	2041-2070	515,78	-0,524	369,37	-0,524	343,33	-0,524
	2051-2080	473,90	-0,524	391,39	-0,524	365,33	-0,524
	2061-2090	476,40	-0,524	359,66	-0,524	342,66	-0,524
RCP 8.5	2021-2050	453,32	-0,524	295,51	-0,524	330,37	-0,524
	2031-2060	478,24	-0,524	298,01	-0,524	323,04	-0,524
	2041-2070	499,85	-0,524	330,10	-0,524	334,40	-0,524
	2051-2080	505,55	-0,524	336,90	-0,524	337,21	-0,524
	2061-2090	486,40	-0,524	342,02	-0,524	360,43	-0,524

Quadro 3 - Parâmetros a e b , para o período de retorno de 100 anos.

Cenário	Período	Região A (Aveiro)		Região B (Vila Real)		Região C (Lamego)	
		a	b	a	b	a	b
DR 23/95	Referência	365,62	-0,508	292,50	-0,508	438,75	-0,508
RCP 4.5	2021-2050	573,77	-0,508	353,70	-0,508	378,78	-0,508
	2031-2060	571,07	-0,508	389,90	-0,508	394,61	-0,508
	2041-2070	555,87	-0,508	398,50	-0,508	373,14	-0,508
	2051-2080	501,20	-0,508	423,41	-0,508	397,77	-0,508
	2061-2090	500,59	-0,508	387,37	-0,508	373,39	-0,508
RCP 8.5	2021-2050	477,72	-0,508	307,24	-0,508	355,04	-0,508
	2031-2060	508,63	-0,508	312,62	-0,508	349,21	-0,508
	2041-2070	529,57	-0,508	347,65	-0,508	349,91	-0,508
	2051-2080	536,02	-0,508	355,54	-0,508	353,47	-0,508
	2061-2090	510,24	-0,508	360,55	-0,508	378,85	-0,508

Na Figura 2 é apresenta-se, como exemplo, o valor máximo do parâmetro a (a_{max}) de entre os seis valores estimados com os diferentes pares de modelos GCM/RCM:

- Dados simulados para o período 2031-2060 do cenário *RCP4.5* de clima futuro, no período de retorno de 50 anos;
- Dados simulados para o período 2041-2070 do cenário *RCP8.5* de clima futuro, no período de retorno de 100 anos.

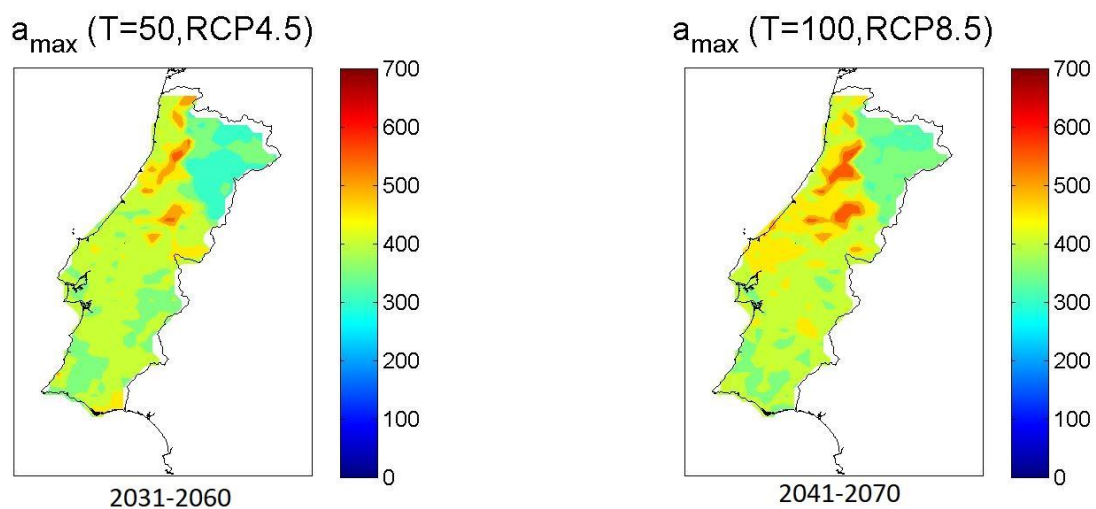


Fig. 2 - Parâmetro a_{max} das curvas IDF simulado para dois cenários futuros, *RCP4.5* e *RCP8.5* para dois períodos de retorno de 50 e 100 anos respetivamente

Comparando os valores do DR 23/95 com os resultados obtidos com dados simulados (como os apresentados na Figura 2) surgem algumas diferenças. Por exemplo, a zonagem de Portugal Continental em três regiões pluviométricas com diferentes valores dos parâmetros das curvas IDF poderá não ser a mais adequada, ou seja, a uniformização em três regiões pluviométricas poderá não ser a mais rigorosa pois agrega regiões com características climáticas distintas, isto é, com regimes de precipitação intensa diferentes.

Foi realizado o dimensionamento das duas PH, nos dois cenários (*RCP4.5* e *RCP8.5*) e para períodos de retorno de 50 e 100 anos. Contudo, por se considerar representativo do estudo efetuado, neste documento apresentam-se, como exemplos, os resultados do dimensionamento da PH1, nas condições do cenário *RCP8.5*, e da PH2, nas condições do cenário *RCP4.5*, ambas para o período de retorno de 100 anos.

A Figura 3 ilustra os valores de referência (DR 23/95) e os valores estimados para as condições de clima futuro, tanto do diâmetro como do caudal para a PH1, no cenário *RCP8.5* para um período de retorno de 100 anos, nas três regiões e para cada período climatológico consecutivo de 30 anos. Da análise dos resultados, verifica-se que no ponto da Região A, existe uma tendência para o aumento da intensidade de precipitação verificada pelo aumento de caudal ao longo dos períodos de anos consecutivos, podendo implicar um aumento do diâmetro necessário. No ponto da região B a tendência para o futuro é também o aumento da intensidade de precipitação, demonstrada através do aumento de caudais. Esse aumento pode levar à necessidade de aumento do diâmetro no futuro. Já o ponto da Região C, demonstra uma diminuição da intensidade de precipitação verificada através da diminuição de caudais, não implicando uma alteração significativa ao nível dos diâmetros.

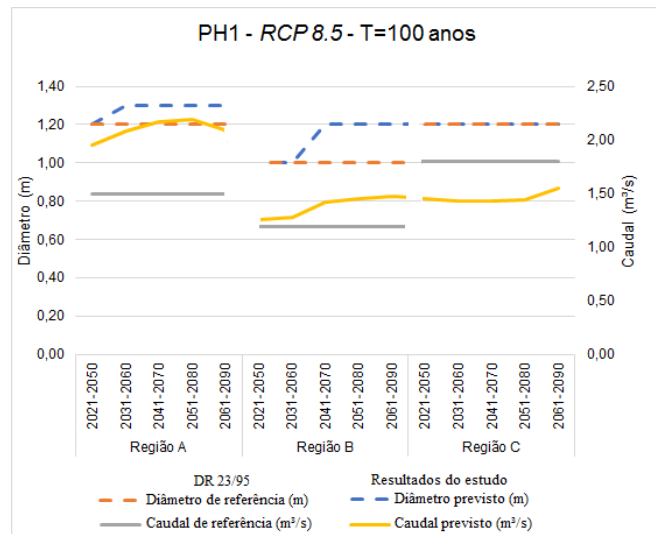


Fig. 3 - Gráfico representativo da relação entre caudais e diâmetros para a PH1, no cenário RCP8.5 para um período de retorno de 100 anos

A Figura 4, apresenta a mesma informação que a Figura 3, mas agora para a PH2 e para o cenário RCP4.5. Verifica-se que para o ponto da Região A, nos períodos climatológicos mais próximos, existe um aumento de caudal de cerca 50% em relação ao caudal de referência calculado de acordo com o DR 23/95, o que por sua vez poderá implicar num aumento do diâmetro, contudo as estimativas para os períodos futuros indicam uma diminuição do caudal, associados a uma diminuição da intensidade de precipitação. Ainda assim, nesta região, os diâmetros correspondentes a caudais estimados para o futuro, são sempre superiores aos diâmetros para o período de referência. No ponto da Região B, a tendência para o futuro é o aumento do caudal, associado ao aumento da intensidade de precipitação. Esse aumento implica um aumento do diâmetro para o futuro. No ponto da Região C é estimada uma diminuição de caudais associado à diminuição da intensidade de precipitação.

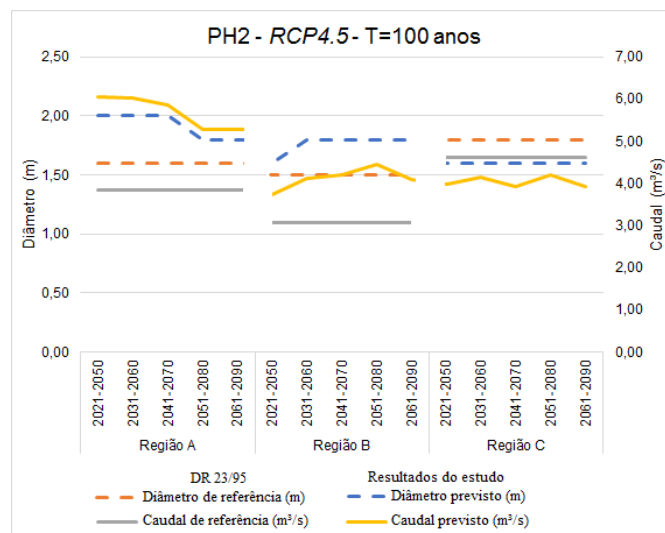


Fig. 4 - Gráfico representativo da relação entre caudais e diâmetros para a PH2, no cenário RCP4.5 para um período de retorno de 100 anos

Em ambos os casos (Figuras 3 e 4) observa-se uma aproximação dos caudais previstos para os pontos analisados na Região B e C. Esta circunstância é substancialmente diferente da definida no DR 23/95, em que a Região B apresenta os caudais mais reduzidos da amostra em estudo enquanto que a Região C apresenta os caudais mais elevados da amostra. Por outro lado, a Região A, que de acordo com o DR 23/95 apresentaria caudais intermédios, apresenta os caudais mais elevados da amostra. Deste modo, conclui-se que o atual método de separação de regiões pluviométricas não será o mais adequado.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho pretendeu verificar a eventual influência das alterações na distribuição de valores extremos de precipitação, associados às alterações climáticas, no dimensionamento das passagens hidráulicas.

Os resultados obtidos mostram que existe uma grande variabilidade espacial e temporal no campo da precipitação em Portugal o que contrasta com a existência de apenas três regiões pluviométricas preconizadas na legislação em vigor. No que respeita à intensidade de precipitação, a comparação entre os parâmetros a e b simulados para o futuro e os previstos pelo Decreto-Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto utilizados para dimensionar as passagens hidráulicas, verificam-se aumentos nos valores de a para o futuro compreendidos entre 30% e 57% na amostra em estudo da Região A e da Região B, e diminuições na Região C, compreendidas entre -9% e -23%.

Com base nestes resultados é possível inferir que o impacto das alterações climáticas se deverá traduzir numa alteração não desprezável do dimensionamento de passagens hidráulicas, realizado com os parâmetros das curvas IDF estimados com os dados simulados, em relação com os parâmetros das curvas IDF idealizadas por Matos e Silva [16] e definidas no Decreto-Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto. Também deverão existir impactos na tipologia de intervenções de reforço associadas à reparação de anomalias existentes no corpo das passagens hidráulicas. Algumas destas metodologias levam à redução de secção, tais como a execução de soleiras ou encamisamentos. Esta redução de secção, quando associada a um aumento da precipitação, poderá levar a complicações no escoamento e nas infraestruturas. É de notar que considerando representativa a amostra estudada, a única região eventualmente preparada para intervenções deste tipo é a Região C, pois em todos os casos de dimensionamento demonstrou sempre uma diminuição de intensidade de precipitação. Os resultados deste estudo podem ser utilizados para as estruturas já construídas, podendo estas ser adaptadas em função das estimativas de caudais futuros.

5 AGRADECIMENTOS

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Egis Road Operation Portugal

6 REFERÊNCIAS

1. IPCC, “Impacts of 1.5 °C global warming on natural and human systems,” *Glob. Warm. 1.5 °C - IPCC’s Spec. Assess. Rep.*, 2018.
2. O. Zolina, “Changes in intense precipitation in Europe,” *content.taylorfrancis.com*, 2012.
3. B. L. Finlayson, T. A. McMahon and M. C. Peel, “Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification,” *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 11, pp. 1633–1644, 2007.
4. Climate-data.org, “Dados climáticos para cidades mundiais - Climate-Data.org,” 2018, 2018. [Online]. Available: <https://pt.climate-data.org/>. [Accessed: 31-Dec-2018].
5. “EURO-CORDEX.” [Online]. Available: <https://www.euro-cordex.net/>. [Accessed: 15-Dec-2018].
6. J. Parente, M. G. Pereira, M. Amraoui and E. M. Fischer, “Heat waves in Portugal: Current regime, changes in future climate and impacts on extreme wildfires,” *Sci. Total Environ.*, vol. 631–632, pp. 534–549, 2018.
7. “Cordex data.” [Online]. Available: <http://www.cordex.org/Data-Access/Bias-adjusted-RCM-data/>. [Accessed: 08-Oct-2018].

8. WRCP CORDEX, “First bias-adjusted CORDEX data now freely available,” 2018. [Online]. Available: <https://www.wcrp-climate.org/news/wcrp-news/1019-first-bias-adjusted-cordex-data>. [Accessed: 31-Dec-2018].
9. D. Jacob, J. Petersen, B Eggert, A. Alias, O. Christensen, L. Bouwer, A. Braun, A. Colette, M. Déqué, G. Georgievski, E. Georgopoulou, A. Gobiet, L. Menut, G. Nikulin, A. Haensler, N. Hempelmann, C. Jones, K. Keuler, S. Kovats, N. Kröner, S. Kotlarski, A. Kriegsmann, E. Martin, E. Meijgaard, C. Moseley, S. Pfeifer, S. Preuschmann, C. Radermacher, K. Radtke, D. Rechid, M. Rounsevell, P. Samuelsson, S. Somot, Jean-Francois Soussana, C. Teichmann, R. Valentini, R. Vautard, B. Weber and P. Yiou, “EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research,” *Reg. Environ. Chang.*, vol. 14, no. 2, pp. 563–578, Apr. 2014.
10. G. Ouzeau, J. Soubeyroux, M. Schneider and R. V. Services, “Heat waves analysis over France in present and future climate: Application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble,” *Elsevier*, 2016.
11. G. P. Wayne, “The Beginner’s Guide to Representative Concentration Pathways,” *Skept. Sciece*, pp. 1–24, 2014.
12. D. Vuuren, J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. Hurtt, T. Kram, V. Krey, Jean-Francois Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S. Smith and S. Rose, “The representative concentration pathways: an overview,” *Clim. Change*, vol. 109, no. 1, p. 5, 2011.
13. C. Brandão, R. Rodrigues and J. P. Costa, “Análise de fenómenos extremos. Precipitações intensas em Portugal Continental,” *Lisboa, DSRH*, p. 64, 2001.
14. M. J. M. G. Pereira, L. F. S. Fernandes, E. M. B. Macário, S. M. Gaspar and J. G. Pinto, “Climate Change Impacts in the Design of Drainage Systems: Case Study of Portugal,” *J. Irrig. Drain. Eng.*, vol. 05014009, pp. 1–11, 2014.
15. H. J. Fowler and C. G. Kilsby, “Using regional climate model data to simulate historical and future river flows in northwest England,” *Clim. Change*, vol. 80, no. 3, pp. 337–367, 2007.
16. R. Matos and M. Silva, “Estudos de precipitação com aplicação no projecto de sistemas de drenagem pluvial,” *Curvas Intensidade-Duração-Frequência da Precipitação em Port. ITH*, vol. 24, 1986.
17. A. Lencastre and F. M. Franco, *Lições de Hidrologia*, Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologias, Lisboa, 1992.
18. L. A. Herr and H. G. Bossey, *Hydraulics Chart for the Selection of Highway Culverts*,” Hydraulic. Washington, D. C.: Federal Highway Administration, 1965.
19. U. S. Department of Transportation, *Hydraulics Manual*, Environment, Washington D. C., 1997.
20. C. M. Ramos and A. C. de Lencastre, *Drenagem em infra-estruturas de transportes e hidráulica de pontes*, 2005.