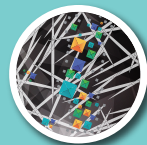


Coordenadores:

Luciano Lourenço

Adélia Nunes

XIV ENCONTRO
NACIONAL
de **RISCOS**



Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais. Aprender com o Passado



RISCOS

Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança
Coimbra, 2022

Volvida uma década, o Encontro Nacional de Riscos, na sua XIV edição, regressou à Universidade de Coimbra. Depois de vários Encontros terem decorrido de Norte a Sul do território continental e no arquipélago da Madeira, o XIV Encontro, sobre “Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais - Aprender com o Passado”, voltou a Coimbra para visitar as cheias e inundações de 2001, que imprimiram um rasto de destruição em várias bacias hidrográficas nacionais, com destaque para a do rio Mondego, onde o rebentamento de vários diques, a jusante de Coimbra, provocou mais de uma centena de desalojados.

No decurso destas duas décadas, o risco de cheia e de inundação voltou a manifestar-se, com as inundações de janeiro e fevereiro de 2016 a causarem avultados prejuízos na área ribeirinha de Coimbra e, as de dezembro de 2019, a afetarem vastas áreas da planície aluvial do rio Mondego. Assim, diremos que o objetivo deste Encontro, à semelhança de outros anteriores, visou visitar acontecimentos nefastos, para deles retirar os ensinamentos que podem transmitir e, assim, aprender com essa(s) experiência(s) do passado.

Para tal, neste Encontro colocaram-se os agentes de proteção civil, o órgão de gestão das bacias hidrográficas, a empresa de gestão da produção de energia da barragem da Aguieira e o Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos, a discutir com a comunidade científica as causas e as consequências destes acontecimentos e, sobretudo, a refletir sobre os desafios que se colocam à gestão integrada desta bacia hidrográfica, no intuito de evitar/reduzir o risco de cheias e o consequente risco de inundações no Baixo Mondego.

A expectativa foi a de que, com o envolvimento e articulação de todos, se pudesse reduzir o risco de inundações no Baixo Mondego, através do aumento tanto da resiliência das comunidades, como das capacidades de antecipação e de resposta dos meios de prevenção e socorro em situação de crise. A publicação das intervenções proferidas durante este XIV ENR pretende contribuir para esse desiderato.



RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA

ESTRUTURAS EDITORIAIS | EDITORIAL STRUCTURES
Estudos Cindínicos

DIRETOR PRINCIPAL | MAIN EDITOR

Luciano Lourenço

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

DIRETORES ADJUNTOS | ASSISTANT EDITORS

António Amaro, Adélia Nunes, António Vieira, Fátima Velez de Castro

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

ASSISTENTE EDITORIAL | EDITORIAL ASSISTANT

Fernando Félix

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

COMISSÃO CIENTÍFICA | EDITORIAL BOARD

Adélia Nunes

Universidade de Coimbra

Antenora Maria da Mata Siqueira

Universidade Federal Fluminense, Brasil

Ana Meira Castro

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Carla Juscélia Oliveira Souza

Universidade de São João del Rei, Brasil

António Betâmio de Almeida

Instituto Superior Técnico, Lisboa

Esteban Castro

Universidade de Newcastle, Reino Unido

António Duarte Amaro

Escola Superior de Saúde do Alcoitão

José António Vega

Centro de Investigación Forestal de Lourizán, Espanha

António Vieira

Universidade do Minho

José Arnaez Vadillo

Universidade de La Rioja, Espanha

Cármem Ferreira

Universidade do Porto

Lidia Esther Romero Martín

Universidade Las Palmas de Gran Canaria, Espanha

Fátima Velez de Castro

Universidade de Coimbra

Miguel Castillo Soto

Universidade do Chile

Helena Fernandez

Universidade do Algarve

Montserrat Díaz-Raviña

Inst. Inv. Agrobiológicas de Galicia, Espanha

Humberto Varum

Universidade de Aveiro

Norma Valencio

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

José Simão Antunes do Carmo

Universidade de Coimbra

Ricardo Alvarez

Univ. Atlântica, Florida, Estados Unidos da América

Luciano Lourenço

Universidade de Coimbra

Victor Quintanilla

Universidade de Santiago de Chile, Chile

Romero Bandeira

Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto

Virginia Araceli García Acosta

CIESAS, México

Tiago Ferreira

Universidade do Minho

Xavier Ubeda Cartaña

Universidade de Barcelona, Espanha

Tomás de Figueiredo

Instituto Politécnico de Bragança

Yvette Veyret

Universidade de Paris X, França

LUCIANO LOURENÇO
ADÉLIA NUNES
(COORDS.)



RISCO DE CHEIAS E RISCO DE INUNDAÇÕES FLUVIAIS. APRENDER COM O PASSADO

Edição

RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

Email: riscos@riscos.pt

URL: <https://www.riscos.pt/publicacoes/sec/>

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Luciano Lourenço e Adélia Nunes

IMAGEM DA CAPA

Karine Nieman

PRÉ-IMPRESSÃO

Fernando Félix

EXECUÇÃO GRÁFICA

Simões & Linhares, Lda.

ISSN

2184-5727

DOI (Série)

<https://doi.org/10.34037/978-989-54295-1-6>

Depósito Legal

495408/22

ISBN

978-989-9053-11-3

ISBN Digital

978-989-9053-12-0

DOI

https://doi.org/10.34037/978-989-9053-12-0_10



**REPÚBLICA
PORTUGUESA**

Este trabalho é Financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto “UIDB/GEO/04084/2020” e “UIDP/GEO/04084/2020”.

This work is Financed by National Funds through the FCT - Foundation for Science and Technology under the project “UIDB/GEO/04084/2020” and “UIDP/GEO/04084/2020”.

ÍNDICE

PREFÁCIO	9
AS CHEIAS E O RISCO DE INUNDAÇÕES NO BAIXO MONDEGO	15
Monitorização da variação secular dos parâmetros climatológicos em Coimbra: o caso da precipitação para análise de riscos hidrológicos Joana R. Domingues, Maria Alexandra Pais, Paulo Ribeiro, Alcides Pereira e Vasco Mantas	17
Estudo das inundações do rio Mondego a jusante da confluência do rio Ceira até à ponte Açude Teresa Fragoso, João Bravo, António Correia e Luís Araújo Santos	39
Contributos do Laboratório de Hidráulica da Universidade de Coimbra para o estudo das Cheias do Mondego José Afêu Sá Marques, Nuno Eduardo Simões e Fernando Seabra Santos	53
Impactos das grandes cheias do rio Mondego na região de Coimbra - uma resenha histórica João Pardal, Lúcio Cunha, Alexandre Oliveira Tavares, Pedro Pinto Santos e Luís Leitão	75
Gestão do risco de inundação no Baixo Mondego Carlos Luís Tavares	109
Investimentos do PO SEUR na redução de riscos de cheias e inundações. “O exemplo do Baixo Mondego” José Marques Guedes	129
Projetar o futuro revivendo acontecimentos passados: as cheias de 2001 no rio Mondego e na queda da ponte Hintze Ribeiro, no rio Douro José Simão Antunes do Carmo	145
RISCOS DE INUNDAÇÃO NOUTRAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE PORTUGAL E DO BRASIL	167
O risco hidrológico no município de Braga: contributo para a sua cartografia Isabel Catarina da S. M. Ferreira, António Bento-Gonçalves e António Vieira	169
Estimativas de caudais de ponta no Parque Natural de Montesinho aplicando o método SCS Tamires Bertocco, Tomás de Figueiredo e Felícia Fonseca	197
Tendências de evolução temporal dos caudais médios diários em bacias de montanha do NE de Portugal Vinícius Kenzo Okada, Tomás de Figueiredo, Felícia Fonseca e Maurício Morerira dos Santos	209

ÍNDICE

A vala de Alpiarça e o risco de inundação em Almeirim	
Samuel Rodrigues Tomé e Luciano Lourenço	225
Inundações urbanas na Amazónia setentrional, Boa Vista-RR-Brasil	
Antônio Carlos Ribeiro Araújo Júnior	249
Gestão do risco de inundações em Petrópolis (RJ - Brasil). Interface entre diferentes políticas públicas	
Jacques Manz, Raul Reis Amorim e Carmen Ferreira	269
Contribuição da educação na resolução do risco de inundação: estudo de caso através da observação de imagens	
Mário Talaia e Pedro Talaia	313

PREFÁCIO

A nível mundial, as cheias e as consequentes inundações fluviais são as catástrofes mais comuns, representando 44% das manifestações registadas no período compreendido entre 2000 e 2019, de acordo com a *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNISDR). Afetaram, nesse período, 1,6 mil milhões de pessoas em todo o mundo, o valor mais elevado quando comparado com outros tipos de catástrofes.

À escala europeia, nestas últimas décadas, as cheias e as inundações representaram cerca de 1/3 das perdas causadas por fenómenos naturais e, na União Europeia, os seus respetivos custos anuais médios ultrapassam 4 mil milhões de euros. Também na região mediterrânea, as cheias e as inundações são consideradas as catástrofes com maior potencial de destruição, sendo de igual modo as que causaram o maior número de vítimas mortais e os danos materiais mais elevados.

Em Portugal, as cheias e as inundações foram, de igual modo, o fenómeno natural mais frequente e mortífero durante o último século. A este propósito, recorde-se o evento ocorrido de 25 para 26 de novembro de 1967, na área da Grande Lisboa, com inundações a causarem um elevado número de mortos, a rondar cinco centenas, milhares de desalojados e inúmeras habitações destruídas. Também as cheias e inundações de 2001 imprimiram um rasto de destruição em várias bacias hidrográficas nacionais, destacando-se a do rio Mondego, onde o rebentamento de vários diques, a jusante de Coimbra, provocou mais de uma centena de desalojados. Em dezembro de 2019, apesar de se terem registado caudais bastante superiores aos assinalados na cheia de 2001, apenas dois diques colapsaram, deixando também vastas áreas da planície aluvial do rio Mondego submersas pela água, inúmeras povoações isoladas, estradas cortadas e danos muito significativos em múltiplas infraestruturas e nos campos agrícolas.

Na bacia do Mondego, à semelhança de outras bacias do território nacional, as cheias e as inundações são seculares e, apesar das obras de regularização realizadas, elas continuam a ocorrer, provocando avultados prejuízos. Pode afirmar-se, todavia, que o estado atual de conhecimento sobre os processos que conduzem à ocorrência de cheias e de inundações se encontra relativamente bem consolidado, integrando processos eminentemente naturais, a que se associam outros fatores desencadeantes ou agravantes de origem antrópica. Como justificar, neste contexto, a contínua manifestação dos riscos de cheia e de inundação, com consequências mais ou menos gravosas, ano após ano?

Sob o tema “Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais. Aprender com o Passado” decorreu nos dias 16 e 17 de julho de 2021, na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, o XIV Encontro Nacional de Riscos em que, à semelhança do que aconteceu com edições anteriores, se revisitou um acontecimento particularmente nefasto, cuja efeméride “redonda” ocorreu neste ano, para dele retirar os ensinamentos que pode transmitir e, assim, aprender com essas experiências. Neste Encontro colocou-se a comunidade científica, bem como e, sobretudo, os agentes de proteção civil, os órgãos de soberania regionais/locais, os professores dos ensinos básico e secundário e a população em geral, a refletir sobre o que fazer em caso de situações de catástrofe provocadas pela manifestação dos riscos de cheias e de inundações fluviais, aprendendo com o passado para melhorar o presente e o futuro, tomando consciência de que a frequência e intensidade destes eventos hidrológicos excecionais têm tendência para aumentar e afetar um número crescente de pessoas e bens. Discutiu-se, também, a importância que um eficaz planeamento e ordenamento do território podem ter na redução destas catástrofes e avaliou-se e refletiu-se sobre a importância da educação formal na construção de sociedades mais conscientes e resilientes a tais riscos.

Porque a “memória do risco” tem um papel fundamental na evolução do conhecimento, por ter uma importância determinante na estrutura das ações dos atores sociais e na escolha das tomadas de decisão, tendo em vista a redução dos riscos, presentes ou futuros, baseada na experiência adquirida, o livro que agora se apresenta, para “memória futura”, reúne vários contributos que, de forma complementar, consolidam os conhecimentos e as aprendizagens que se possam retirar do estudo de eventos catastróficos passados. Constitui-se por catorze capítulos, dividido em duas partes; a primeira, sobre “As cheias e o risco de inundações no Baixo Mondego” e, a segunda, sobre “Riscos de inundação noutras bacias hidrográficas de Portugal e do Brasil”.

No primeiro capítulo, intitulado “*Monitorização da variação secular dos parâmetros climatológicos em Coimbra: o caso da precipitação para análise de riscos hidrológicos*”, da autoria de Joana Domingues, Maria Alexandra Pais, Paulo Ribeiro, Alcides Pereira e Vasco Mantas, avalia-se a correlação entre a precipitação, medida na estação meteorológica da Av. Dr. Dias da Silva, em Coimbra, e as cheias registadas nesta cidade. Os resultados obtidos mostram correlações baixas entre os anos de cheias em Coimbra e os anos de maior precipitação anual, sugerindo a necessidade de integração de maior

número de parâmetros de toda a Bacia do Mondego, nomeadamente a intensidade e a duração da precipitação noutros pontos da bacia, o caudal, assim como o uso e ocupação do território, características geomorfológicas da bacia, entre outros.

Teresa Frago, João Bravo, António Correia e Luís Araújo Santos apresentam, na sequência o “*Estudo das inundações do rio Mondego a jusante da confluência do rio Ceira até à Ponte Açudé*”, onde procuram avaliar a adequabilidade da utilização de programas de simulação dinâmica de Precipitação-Escoamento como ferramenta para a previsão de cheias. Como caso de estudo adotaram o evento de cheia ocorrido no Mondego, em dezembro de 2019. Pela análise verificou-se que o coeficiente de rugosidade de Manning tem uma forte relevância nos resultados obtidos sendo um parâmetro crucial na calibração do programa, pelo que o conhecimento rigoroso da cobertura vegetal nas margens do rio se torna fundamental, segundo os autores deste trabalho.

José Alfeu Sá Maques, Nuno Eduardo Simões e Fernando Seabra Santos, no capítulo seguinte explanam os “*Contributos do Laboratório de Hidráulica da Universidade de Coimbra para o estudo das cheias na região de Coimbra*” ao qual, na sequência das inundações de 2000/2001 e 2016, foi solicitado uma análise destes eventos. Os estudos requeridos tinham como objetivo explicar as razões da ocorrência das cheias, avaliar o comportamento dos intervenientes na operação de gestão das barragens e retirar ensinamentos para a gestão e atuação futuras. Os resultados obtidos demonstraram que, em ambas as cheias, a gestão das descargas da barragem da Aguieira não foi feita de acordo com os protocolos em vigor, pois, a serem seguidos, os caudais máximos e os níveis de água poderiam ter sido muito reduzidos e as inundações drasticamente mitigadas. Acrescentam, no entanto, outros fatores agravantes dos respetivos impactes: a deficiente manutenção das infraestruturas e da limpeza das margens, bem como o assoreamento do leito junto à cidade de Coimbra. Acresce a necessidade de integração dos conhecimentos mais atuais no domínio da previsão, seja meteorológica, hidrológica ou hidráulica, e das tecnologias de comunicação, para que a decisão do operador possa ser mais bem informada, e que é outra das conclusões evidenciada.

No capítulo seguinte, os autores, João Pardal, Lúcio Cunha, Alexandre Oliveira Tavares, Pedro Pinto Santos e Luís Leitão, fazem um levantamento dos “*Impactos das grandes cheias do rio Mondego na região de Coimbra - uma resenha histórica*”, através da consulta de bases documentais históricas e registos

hidrométricos (antigos e atuais). Assim, no período de 1200 a 2021, identificaram 296 cheias, 32 classificadas de catastróficas e 60 de extraordinárias. Entre os impactos mais relevantes, salientam a perda de vidas humanas, o isolamento das populações, situações de insalubridade e doenças, perdas agrícolas e na pecuária, destruição de infraestruturas hidráulicas e vias de comunicação, habitações, igrejas, conventos e comércio. Concluíram que o Mondego poderá estar parcialmente “domado” pelas atuais estruturas hidráulicas, mas “não controlado”, por isso é necessário adaptar o atual sistema de gestão da Bacia Hidrográfica à realidade atual.

Sobre a “*Gestão do risco de inundação no Baixo Mondego*”, Carlos Luís Tavares conclui, no capítulo que se segue, que as medidas estruturais de proteção são fundamentais na redução dos riscos de cheias e de inundações, acrescentando que, nos eventos de 2000, 2001, 2016 e, principalmente, no de 2019, ficou evidente a necessidade de serem complementadas com o desenvolvimento de atividades não-estruturais. Destaca, neste âmbito, o ordenamento do território, a gestão da emergência e o envolvimento das comunidades locais em todo o processo de gestão do risco.

O “*Investimento do POSEUR na Redução de Riscos de Cheias e Inundações. O Exemplo do Baixo Mondego*”, é o título do capítulo da autoria de José Marques Guedes, no qual se analisa o financiamento comunitário a projetos com o objetivo de Redução de Riscos de Cheias e Inundações, com especial destaque para os investimentos aprovados na Bacia Hidrográfica do Mondego. Assim, no que concerne ao Baixo Mondego foram 7 as operações financiadas, que representam um investimento total superior a 36 M€, destinados principalmente à limpeza de leitos e margens (vegetação e/ou materiais), e a ações para reduzir a impermeabilização dos solos, através da rearborização das margens em zonas críticas.

No capítulo “*Projetar o futuro revivendo acontecimentos passados. As cheias do rio Mondego e a queda da ponte Hintze Ribeiro*”, José Antunes do Carmo analisa as cheias de 2000/2001 que afetaram a cidade de Coimbra e a planície do Baixo Mondego. Contudo, nesse mesmo ano hidrológico ocorreu a “tragédia de Entre-os-Rios”, com o colapso da ponte Hintze Ribeiro, provocando a morte de 59 pessoas. O Autor é perentório ao afirmar que o colapso da ponte Hintze Ribeiro é um exemplo concreto de resposta do leito aluvionar a alterações antrópicas, só possíveis por manifesta permissividade, gestão inadequada, negligência e fiscalização inexistente. Acrescenta que o fenómeno de erosão localizada, em pilares de pontes construídas em fundos

aluvionares, representa um risco acrescido à segurança da estrutura e dos seus utilizadores. Enfatiza, por fim, a necessidade de estudar e acompanhar as alterações do leito junto aos pilares, mas também ao longo de extensões significativas do rio para montante e para jusante do trecho onde a infraestrutura se encontra implantada.

A segunda parte deste livro, congrega vários capítulos sobre os “Riscos de inundação noutras bacias hidrográficas de Portugal e do Brasil”. No trabalho apresentado por Isabel Machado Ferreira, António Bento-Gonçalves e António Vieira, sobre “*O risco hidrológico no município de Braga: contributo para a sua cartografia*”, constatou-se que apesar do risco hidrológico estar inserido no grande grupo dos riscos naturais, uma vez que a sua manifestação se encontra associada às características do meio natural, também apresenta várias condicionantes antrópicas, sobretudo relacionadas com a evolução da urbanização, sendo de destacar, neste município, as construções nas proximidades dos cursos de água, o aumento das taxas de impermeabilização e as obstruções nos cursos de água e nos sistemas de drenagem.

Os dois capítulos seguintes, versam sobre a resposta hidrológica de cursos de água, localizados Nordeste de Português; o primeiro, da autoria de Tamires Bertocco, Tomás de Figueiredo e Felícia Fonseca, trata “*Estimativas de caudal de ponta no Parque Natural de Montesinho aplicando o método SCS*” e avalia a influência que os lameiros exercem na regulação do ciclo hidrológico em pequenas bacias de drenagem em zonas de montanha; o segundo, da autoria de Vinícius Kenzo Okada, Tomás de Figueiredo Felícia Fonseca e Maurício Morerira dos Santos, analisa as “*Tendências de evolução temporal dos caudais médios diários em bacias de montanha do NE de Portugal*”. Os resultados obtidos, no primeiro destes estudos, mostra a influência da área ocupada por lameiros nas respostas hidrológicas, apontando para um aumento, em cenários de mudanças climáticas, mais expressivo nos caudais de ponta, quando os lameiros estão em condição de abandono. No segundo estudo ficou evidente um decréscimo tanto dos caudais como dos coeficientes de escoamento (valores médios), com a redução da precipitação a significar caudais abaixo do expectável, quando se considera apenas a variação espacial das precipitações na região.

No capítulo seguinte, com o título “*A vala de Alpiarça e o risco de inundação em Almeirim*”, Samuel Rodrigues Tomé e Luciano Lourenço analisam as inundações fluviais ocorridas durante mais de um século, na cidade de Almeirim, com o intuito de perceber se a construção de barragens, no rio Tejo, teve um impacte significativo

na sua redução, tanto em termos de periodicidade como de altura hidrométrica. Os resultados mostram que o risco de inundação diminuiu, contudo o seu controlo só será efetivo quando se promover uma gestão adequada de água descarregada pelas barragens, em plena concertação entre Portugal e Espanha.

Os capítulos que se seguem, de Antônio Carlos Ribeiro Araújo Júnior e de Jacques Manz, Raul Reis Amorim e Carmen Ferreira, versam, respetivamente, sobre as “*Inundações urbanas na Amazônia Setentrional, Boa Vista-RR-Brasil*” e sobre a “*Interface entre diferentes políticas públicas na gestão do risco de inundações em Petrópolis, RJ – Brasil*”. No primeiro, analisam-se, de forma integrada, fatores biofísicos e socioeconómicos, essenciais no enquadramento geoespacial do risco de inundação na cidade de Boa Vista, com o intuito de identificar as áreas potencialmente perigosas e socialmente vulneráveis a eventos desta natureza, enquanto no segundo, se analisa a interface entre Políticas Nacionais, seja de Recursos Hídricos ou de Proteção e Defesa Civil, e Sistemas Nacionais, neste caso, o de Unidades de Conservação, na gestão do risco de inundações em Petrópolis.

A fechar este livro, Mário Talaia e Pedro Talaia apresentam o capítulo intitulado “*Contribuição da educação na resolução do risco de inundação: caso através da observação de imagens*”, onde exploram a combinação de fundamentos teóricos, que permitem a interpretação do risco de inundações e a utilização de imagens de diferentes locais, para mostrar as consequências da manifestação deste risco, considerando-a como uma valiosa estratégia na prevenção de eventos futuros.

Trata-se, sem dúvida, de um livro de elevada utilidade para investigadores, decisores públicos, professores e estudantes, com interesse nesta matéria ou com responsabilidade na análise e gestão dos riscos de cheias e de inundações fluviais. A expectativa é a de que, com o envolvimento e articulação de todos, se possa reduzir o risco de inundações no Baixo Mondego, assim como noutras bacias nacionais e internacionais, através do aumento, tanto da capacidade de antecipação, tornando as comunidades mais resilientes, como da capacidade de resposta dos meios de socorro em situação de crise, para mitigar os danos.

Coimbra, 14 de novembro de 2021.

Adélia Nunes

AS CHEIAS E O RISCO
DE INUNDAÇÕES NO
BAIXO MONDEGO

**MONITORIZAÇÃO DA VARIAÇÃO SECULAR DOS
PARÂMETROS CLIMATOLÓGICOS EM COIMBRA:
O CASO DA PRECIPITAÇÃO PARA ANÁLISE DE
RISCOS HIDROLÓGICOS**

**MONITORING THE SECULAR VARIATION OF
CLIMATOLOGICAL PARAMETERS IN COIMBRA:
THE CASE OF PRECIPITATION FOR
HIDROLOGICAL RISK ANALYSIS**

Joana R. Domingues* **

ORCID: 0000-0003-3310-5039
joana_barreto_domingues@hotmail.com

Paulo Ribeiro* ****

ORCID: 0000-0002-4430-7149
pribeiro@ci.uc.pt

Vasco Mantas* **

ORCID: 0000-0001-9602-7715
vasco.mantas@uct.uc.pt

Maria Alexandra Pais* ***

ORCID: 0000-0002-2729-2897
pais@fis.uc.pt

Alcides Pereira* **

ORCID: 0000-0002-7392-2255
apereira@uct.uc.pt

Universidade de Coimbra*, CITEUC*
FCT,* Departamento de Ciências da Terra**
Departamento de Física*** Observatório
Geofísico e Astronómico**** (Portugal)

Resumo: Este estudo consiste numa análise secular das séries de valores diários de precipitação do Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra (OGAUC), durante o período de 1880 a 1990. A valorização dessas séries foi possível pela transferência para formato digital das tabelas de dados dos Anuários do Observatório Meteorológico e Magnético, mais tarde convertido em Instituto Geofísico da UC. Pretende-se pesquisar a relação entre a precipitação medida na estação meteorológica da Av. Dr. Dias da Silva e as cheias registadas em Coimbra. Durante a maior parte do período analisado o

rio Mondego apresentou um regime natural, sendo que apenas durante os últimos 10 anos da série de dados estudada o regime de caudal passou a estar regularizado. Foi utilizada a Análise em Componentes Principais para identificação dos principais modos de variabilidade da precipitação, e comparada a evolução temporal desses modos com séries de índices meteorológicos usualmente tidas como proxies do clima observado em Portugal. Os resultados obtidos estão de acordo com estudos anteriores, mas sugerem também novas linhas de pesquisa.

Palavras-chave: Séries temporais, cheias, rio Mondego, pluviosidade, análise em componentes principais.

Abstract: This study consists of an analysis of the series of daily rainfall values from the Geophysical and Astronomical Observatory of the University of Coimbra (OGAUC), from 1880 to 1990. It became possible to recover and use the data as a consequence of the conversion to digital format of the data charts from the yearbooks of the Meteorological and Magnetic Observatory (OMM), that later became the Geophysical Institute of UC (IGUC). The main objective of the study is to assess how the precipitation measured at the meteorological station on Av. Dr. Dias da Silva is related to the floods recorded in Coimbra. For most of the period in question, the River Mondego had a natural regime and it is only during the last 10 years of data that the flow regime became regularised. We used Principal Component Analysis (PCA) to identify the main modes of rainfall variability and compared the temporal evolution of these modes with the meteorological index series usually taken as proxies of the climate in Portugal. The results obtained are in agreement with previous studies, but also suggest new lines of research.

Keywords: Time series, floods, River Mondego, rainfall, principal component analysis.

Introdução

Em 1864 foi fundado o Observatório Meteorológico e Magnético (OMM) no alto da Cumeada (hoje Av. Dr. Dias da Silva) a cerca de 1500 m do rio Mondego, num local a 140 m de altitude e coordenadas geográficas 8°23' longitude Oeste e 40°12' latitude Norte (fig. 1). Tendo como primeiro diretor o professor da Faculdade de Filosofia Jacinto António de Sousa, o OMM iniciou a sua atividade com instrumentos meteorológicos e magnéticos cuidadosamente aferidos pelo observatório de Kew (Inglaterra), com o objetivo de permitir alcançar um conhecimento preciso do clima de Coimbra, bem como do comportamento do campo magnético terrestre (Santos, 1995). As observações meteorológicas tiveram início ainda com o observatório em construção, a 1 de fevereiro de 1864. Durante o período inicial foi apenas possível fazer observações tri-horárias.

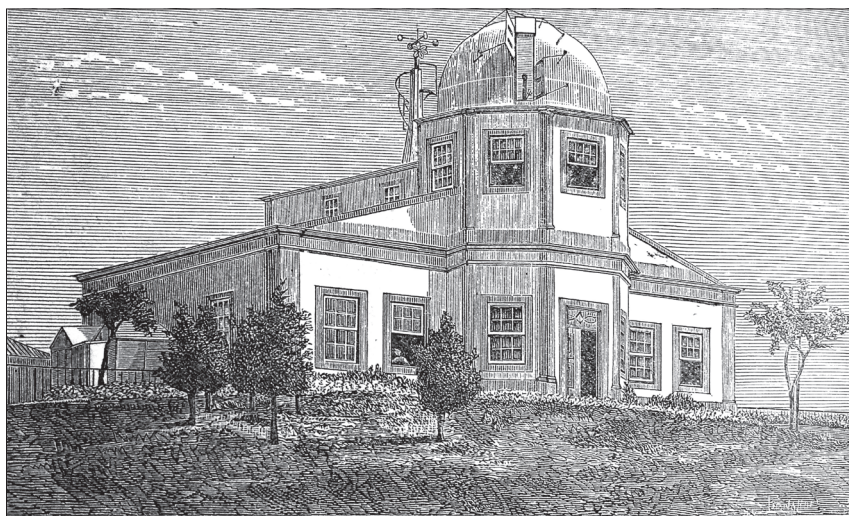


Fig. 1 - Ilustração do edifício principal do IGUC na Cumeada (atual Av. Dr. Dias da Silva) (Fonte: OGAUC).

Fig. 1 - Illustration of the IGUC main building at Cumeada (today, Av. Dr. Dias da Silva) (Source: OGAUC).

Os trabalhos de sismologia iniciaram-se na última década do século XIX mas foi com a instalação do pêndulo horizontal de Milne, em 1903, que o registo sismológico

se passou a fazer de forma regular (Custodio *et al.*, 2012). Em 1925, o OMM passou a designar-se Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC).

O Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra foi inaugurado em 1799. Com a instalação do espectro-heliógrafo analógico, em 1926, que foi adaptado para registo digital em 2007, iniciou-se a observação regular do Sol. Este instrumento tem como função obter imagens do Sol, mais precisamente das camadas da sua atmosfera, num comprimento de onda bem definido como o de certas linhas espectrais do cálcio e hidrogénio. Essas imagens, obtidas diariamente salvo em dias com condições atmosféricas adversas são utilizadas para estudar a atividade solar nas suas diversas manifestações – protuberâncias, manchas, filamentos, entre outros (Lourenço *et al.*, 2019)

Em 2013, o Instituto Geofísico fundiu-se com o Observatório Astronómico da UC para dar origem ao Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra (OGAUC).

As longas séries meteorológicas do OGAUC servirão de base ao presente trabalho. Nelas se incluem as seguintes variáveis climatológicas: Pressão Atmosférica, Temperatura do Ar, Tensão de Vapor, Humidade Relativa, Velocidade e Direção do Vento, Precipitação, Insolação, Configuração e Quantidade de Nuvens, Concentração de Ozono (descontinuada em 1904), e Estado Geral do Tempo. Neste trabalho o foco incidirá sobre as séries de precipitação do OGAUC desde o final do século XIX, mais concretamente desde 1880 até 1990.

Por precipitação entende-se qualquer fenómeno de queda de água do céu, independentemente do seu estado físico, incluindo por isso chuva, neve e granizo. Existem 3 configurações básicas no que toca à precipitação: Frontal, com origem no contacto lateral entre massas quentes e massas frias; Convectiva, associada a correntes ascendentes localizadas em zonas de convecção; e Orográfica, onde por consequência do relevo, a massa de ar é forçada a subir acabando por arrefecer, condensar e precipitar (Santos *et al.*, 2018).

A série secular de precipitação recolhida no OGAUC entre 1880 e 1990, foi construída a partir das leituras dos valores diários de acumulação das águas das chuvas das 9h às 9h (udómetro L. Casella a partir de 1864 – *fig. 2 A*; udómetro de Fuess a partir de 1949) e dos registos horários da precipitação (udógrafo L. Casella de 1875 a 1936 – *fig. 2 B*; udógrafo de Fuess a partir de 1935).



Fig. 2 - Instrumentos utilizados para medição da precipitação (A - Udómetro; B - Udógrafo) (Fonte: Projeto HISTIGUC – 150 anos de história do IGUC).

Fig. 2 - Instruments used to measure rainfall (A - Udometer; B - Udograph)
(Source: HISTIGUC Project - 150 years of IGUC's history).

A principal diferença entre estes dois instrumentos passa por um deles – o udógrafo – estar preparado para registar continuamente os valores de precipitação. Já no caso do udómetro, o volume de água recolhida no recipiente tem de ser medido através de uma proveta de vidro graduada em décimas de milímetro.

A precipitação tem um papel fundamental no ciclo hidrológico, contribuindo de forma crítica para a evolução do caudal de um rio e para a eventual ocorrência de cheias.

Quanto maior for o caudal do curso de água, maior o risco de existir uma cheia fluvial. No entanto, o caudal, assim como o tempo de resposta da bacia e de propagação da cheia, está dependente das características geomorfológicas e fisiográficas da bacia hidrográfica, que afetam diretamente a infiltração da água no solo, a escorrência superficial e a carga sólida (fig. 3). Estas dependem, por sua vez, do tipo e uso do solo, estado da vegetação, relevo e ocupação antrópica (Rocha, 1995). No caso das *flash floods*, caracterizadas por serem eventos que decorrem em

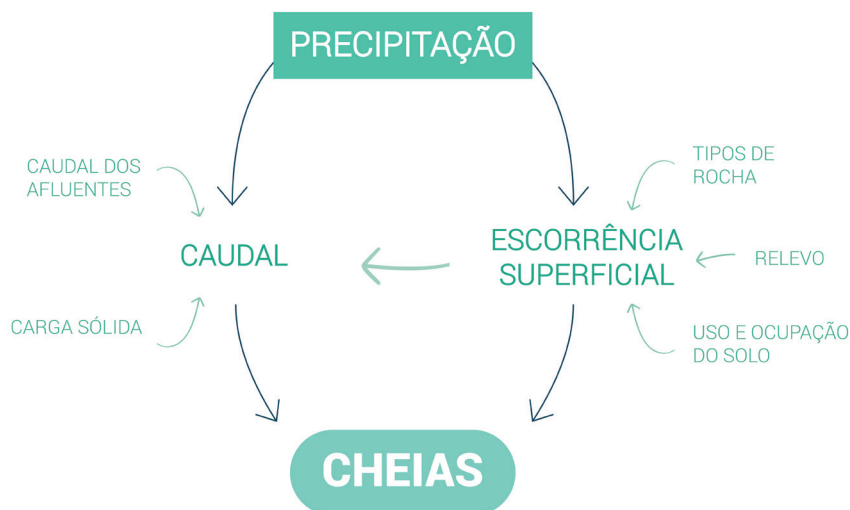


Fig. 3 - Esquema dos fatores condicionantes de cheias.

Fig. 3 - Diagram of conditioning factors in floods.

escalas temporais e espaciais pequenas, o principal fator é a precipitação intensa ou sobre solos extremamente saturados, que levam a uma produção rápida de escorrência superficial. Este tipo de eventos é um dos riscos naturais mais destrutivos do mundo, causando perdas humanas, danos em propriedades, infraestruturas e indústrias (Modrick e Georgakakos, 2015).

A Bacia do Mondego

O rio Mondego, que tem como principais afluentes os rios Pranto, Arunca, Ceira, Alva e Dão, nasce na Serra da Estrela, a cerca de 1547 m de altitude e vai desaguar junto à Figueira da Foz, no Oceano Atlântico, percorrendo um total de cerca de 258 km (Ribeiro e Gamito, 2012).

Cerca de 70% da área da bacia é constituída por rochas graníticas e metamórficas, através de vales bastante encaixados, com porosidade e permeabilidade reduzida a muito reduzida, o que por consequência leva a uma grande disponibilidade de água

à superfície para escorrência superficial. Outro fator que promove a escorrência superficial é o relevo acentuado da Cordilheira Central, com encostas muito declivosas que dificultam a infiltração. Quando as massas de ar colidem com esta barreira natural promovem fenómenos de precipitação, podendo chegar a triplicar os valores medidos em regiões de vale (Rodrigues *et al.*, n.d.).

Na região de Coimbra, entre os anos de 1931 e 1960, registou-se uma precipitação média anual entre 700 e 800 mm, observando-se valores mais altos de precipitação nas zonas com orografias elevadas, sendo, neste último caso o triplo dos valores observados em Coimbra (fig. 4).

A variabilidade espacial da precipitação está associada a fatores como a distância relativa a fontes de humidade, temperatura e direção e intensidade dos ventos dominantes (Nicolau, 2002).

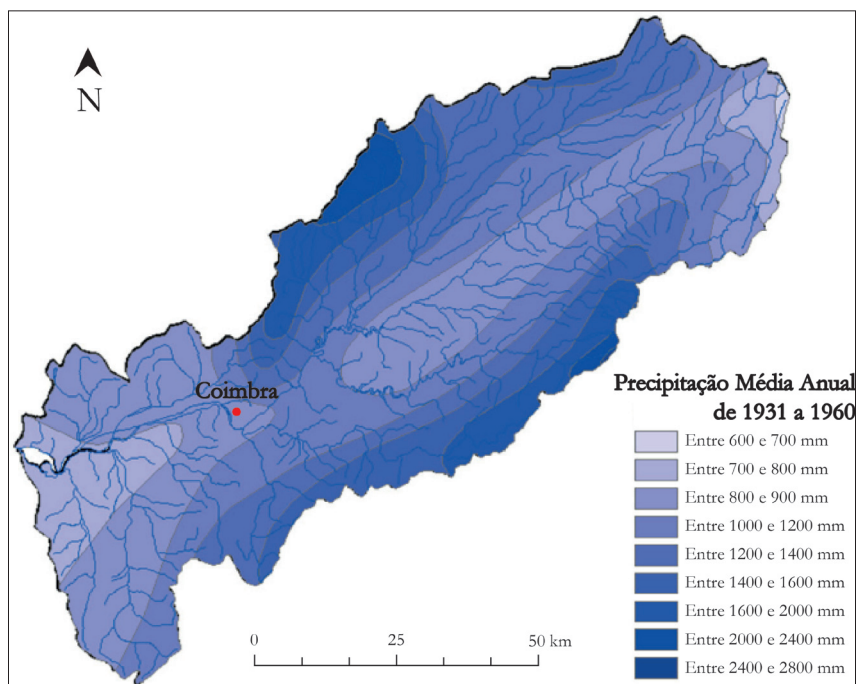


Fig. 4 - Mapa da Precipitação Média Anual na Bacia do Mondego (1931-1960)
(Fonte: Adaptado de A. Santos, 2019).

Fig. 4 - Map of Average Annual Rainfall in the Mondego Basin (1931-1960)
(Source: Adapted from A. Santos, 2019).

No caso específico da distância relativa a fontes de humidade, a região onde a bacia do Mondego está inserida é fortemente afetada pela proximidade ao Oceano Atlântico, que causa o aumento da humidade do ar, com consequente influência na temperatura e níveis de precipitação (Portela *et al.*, 2012). De acordo com a Classificação Köppen-Geiger atualizada, o clima de Coimbra, também chamado de Clima Mediterrâneo, está classificado como Csb caracterizado por um período frio e húmido (outubro a março) e um período quente e seco (julho e agosto) (Graça *et al.*, 2002; Kottek *et al.*, 2006).

O regime climático dominante influencia o coberto vegetal do solo, e está deste modo profundamente associado à variabilidade espacial da escorrência superficial/infiltração. A bacia do Mondego apresenta grandes manchas de vegetação arbórea, o que constitui um fator determinante no favorecimento da infiltração e na diminuição da velocidade e poder abrasivo da escorrência superficial. A ocorrência de incêndios, frequentes nesta região, leva a uma maior taxa de erosão favorecida pelo elevado declive orográfico.

Quando o rio Mondego chega à cidade de Coimbra, encontra a jusante desta uma planície aluvial com permeabilidade mais elevada, propícia à fácil infiltração da água das chuvas (Paiva, 2020). A expansão urbana da cidade contribuiu, em sentido contrário, para a forte impermeabilização do solo, favorecendo o aumento da escorrência superficial local.

As condições climáticas mediterrâneas e o regime torrencial sentido no setor mais a montante da bacia hidrográfica do Mondego, faz com que o rio Mondego seja caracterizado por ser muito irregular em regime natural, e seja extremamente dependente da precipitação. A ocorrência de elevados caudais fluviais resultantes de chuvas abundantes e prolongadas, geralmente de difícil previsão, tornava frequente a existência de cheias e inundações no setor terminal da bacia, com consequências graves para a população, como a destruição de culturas e diversas estruturas (Cunha, 2002; Paiva, 2020).

Com a regularização do Mondego, mais concretamente com o funcionamento das barragens de Aguieira e Fronhas, o número de cheias em Coimbra diminuiu a partir de 1980.

Dados Utilizados

Dados de precipitação

Os dados utilizados são referentes ao período de 1880 a 1990, e correspondem aos valores diários de precipitação recolhidos na estação do OGAUC situada na avenida Dr. Dias da Silva, em Coimbra. Estes dados, foram publicados em anuários a partir de 1864, sendo os valores diários organizados em tabelas, transcritas para formato digital, em particular em ficheiros Excel. Estes dados foram ainda comparados com a secção 'Estado Geral do Tempo e Notas', para referência de fenómenos de geada ou granizo, ou ainda a presença de neve nas serras mais próximas e avistáveis a partir da estação.

Dados de caudal e informação sobre cheias

Para avaliar como é que a precipitação sentida e registada na estação do OGAUC influencia o caudal do Rio Mondego e consequentemente as cheias, recolheu-se informação referente a valores de caudal e episódios de ocorrência de cheias.

A secção de 'Estado Geral do Tempo e Notas' dos anuários publicados regista, para um período mais antigo (entre 1864 a 1915, aproximadamente), a existência de cheias no Rio Mondego. A partir desta data (1915) deixa de haver referência a cheias nos anuários, pelo que teve de ser realizada uma pesquisa bibliográfica para se proceder à identificação deste tipo de eventos em Coimbra, onde entre os recursos utilizados se incluem notícias de jornais, livros/guias, dissertações e artigos científicos.

Posteriormente e de maneira a verificar qual a influência da precipitação local no caudal do rio, foram utilizados os dados do caudal médio diário, em m³ por segundo, na Ponte Santa Clara (estação: 12G/04H), entre outubro de 1955 e setembro de 1985, obtidos através do *site* do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH, n.d.).

Resultados e Discussão

Com a compilação dos dados efetuada, procedeu-se ao processamento e análise da série de dados. Primeiramente, a série de precipitação foi submetida a um conjunto de análises com o intuito da sua validação através de comparação dos resultados com outros estudos já publicados. Seguidamente, a interpretação dos dados permitiu-nos avaliar a influência da precipitação local na ocorrência de cheias em Coimbra.

Variabilidade da precipitação

Com o intuito de determinar a variabilidade de precipitação ao longo do ano, foi calculada a contribuição mensal para o total anual de precipitação para todo o período de estudo, para os 5 anos com maior precipitação e para os 5 anos mais secos. A partir das curvas (fig. 5), consegue-se avaliar a distribuição de precipitação ao longo do ano, em diferentes regimes. Note-se que se optou por representar a sequência de meses ao longo de um ano hidrológico, isto é, com início em outubro e terminando em setembro do ano civil seguinte.

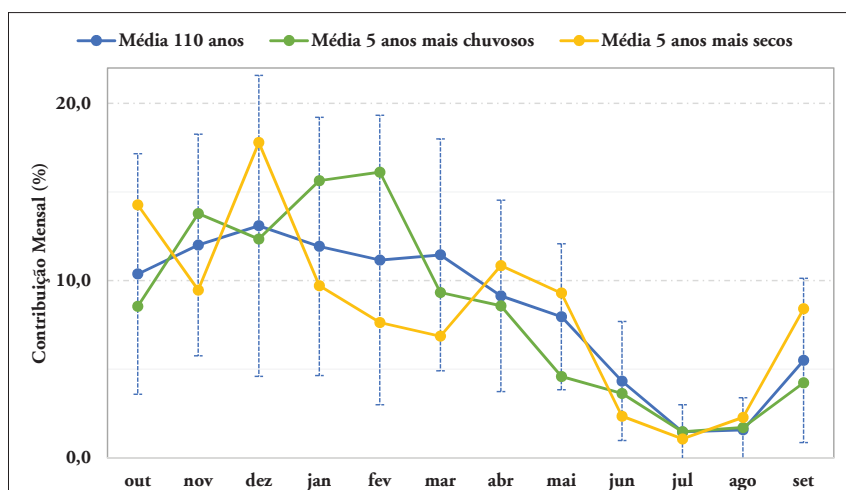


Fig. 5 - Contribuição Mensal para a Curva Anual de Precipitação (1880-1990).

Fig. 5 - Monthly Contribution to the Annual Rainfall Curve (1880-1990).

- Para os 110 anos estudados, 70% da precipitação média ocorre entre os meses de outubro a março, correspondendo assim à época húmida, e os meses de junho a agosto apresentam os mínimos de precipitação média, correspondendo, portanto, à época seca;
- Os 5 anos mais secos apresentam uma grande variabilidade na época húmida, atingindo o seu pico no mês de dezembro;
- Os 5 anos mais chuvosos apresentam uma variabilidade não tão significativa, com valores médios relativamente elevados entre novembro e fevereiro e o pico no mês de fevereiro.

A técnica de Análise de Componentes Principais (ACP) foi aplicada para uma análise prospetiva dos dados. O propósito da sua aplicação foi identificar padrões característicos de distribuição mensal da pluviosidade e como a amplitude de cada padrão varia ao longo do tempo. Esta técnica de análise multivariada procura condensar num conjunto relativamente pequeno de variáveis estatísticas – os modos principais - o máximo de informação contida nas séries de dados. A ACP foi aplicada ao conjunto de dados de médias diárias de precipitação ao longo de cada mês do ano hidrológico, para todo o período de 1880 a 1990.

De acordo com a distribuição espectral de energia no sinal de precipitação pelos diferentes modos, verificamos que 67% da variabilidade está concentrada nos primeiros 4 modos (fig. 6).

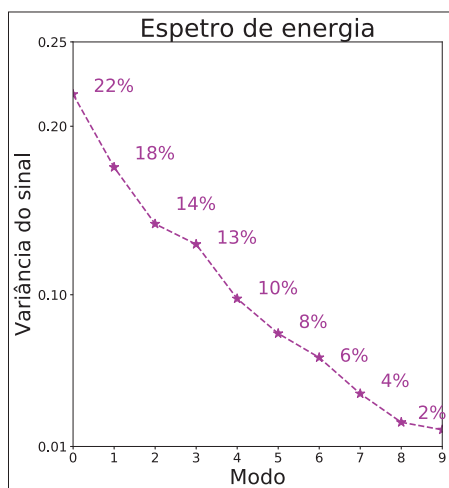


Fig. 6 - Espectro de energia no sinal de precipitação.

Fig. 6 - Energy spectrum in the rainfall signal.

Quando analisamos estes primeiros modos (fig. 7), verificamos que o primeiro (mais energético) parece ter a precipitação acoplada entre os meses de outubro a fevereiro, apresentando o seu pico neste mês. Ao comparar esta curva com a correspondente à média da contribuição mensal relativa dos 5 anos mais chuvosos, verificamos que apresentam comportamentos idênticos, o que permite afirmar que este modo pode representar a variabilidade dos anos mais chuvosos.

De facto, a curva azul que na figura 7 se sobrepõe à distribuição de precipitação característica do primeiro modo principal, concretamente com um pico acentuado em fevereiro e um mínimo também marcado em maio, é obtida calculando uma média que inclui os 3 anos de maior precipitação e os anos ordenados de 7 a 9. Os anos ordenados de 4 a 6 apresentam uma estrutura diferente na distribuição relativa da pluviosidade ao longo do ano, i.e., o modo 1 não é o modo dominante na descrição da variabilidade observada nestes três anos (1940/41, 1959/60 e 1963/64).

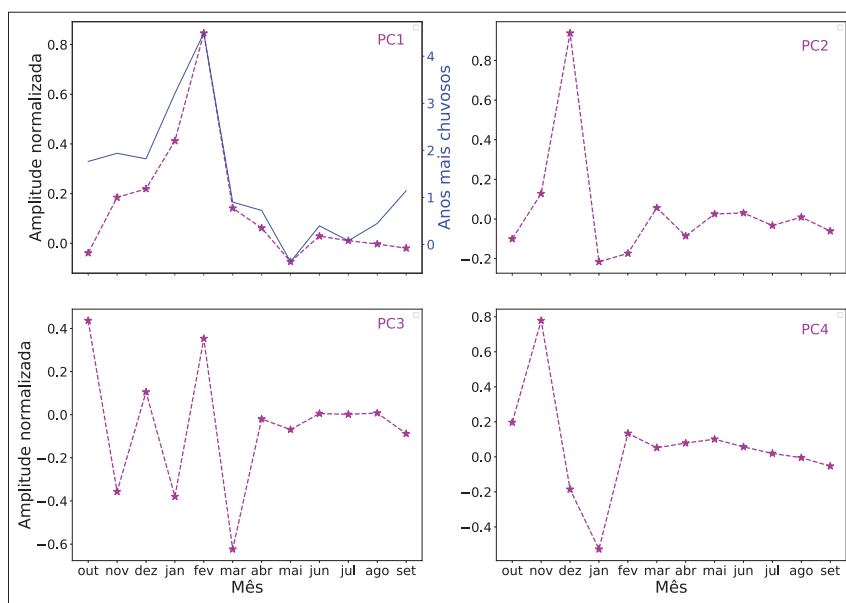


Fig. 7 - Modos principais resultantes da ACP.

Fig. 7 - Main modes given by the PCA.

Para verificar a influência de fenômenos climáticos conhecidos sobre a precipitação em Coimbra, comparou-se a variação temporal do primeiro modo (i.e., a variação da representação desse modo nos dados, ao longo dos anos) à série do índice que descreve a Oscilação do Atlântico Norte (NAO) para a totalidade do período estudado, e à série de dados do Índice da Escandinávia (SCA) de 1950 a 1990. A Oscilação do Atlântico Norte é o modo de circulação atmosférica dominante no Hemisfério Norte e está relacionada com a alternância da intensidade de centros de altas pressões subtropicais e centros de baixas pressões subpolares, que é geralmente observável através da diferença de pressão entre a Islândia e os Açores. Estas flutuações de intensidade favorecem a intensificação dos ventos de Oeste na fase positiva e atenuam-na na fase negativa (fig. 8). Este modo de circulação afeta a trajetória de sistemas depressionários, condicionando a temperatura e especialmente a precipitação sobre grande parte da Europa, Norte de África e até mesmo a costa Leste da América do Norte (López-Moreno *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2017). Outros índices associados a modos de circulação atmosférica, como o índice do Atlântico Este (EA) e o índice da Escandinávia, respetivamente segundo e terceiro modos da variabilidade da pressão do nível do mar no Inverno na Europa, também têm influência nos regimes de precipitação na região.

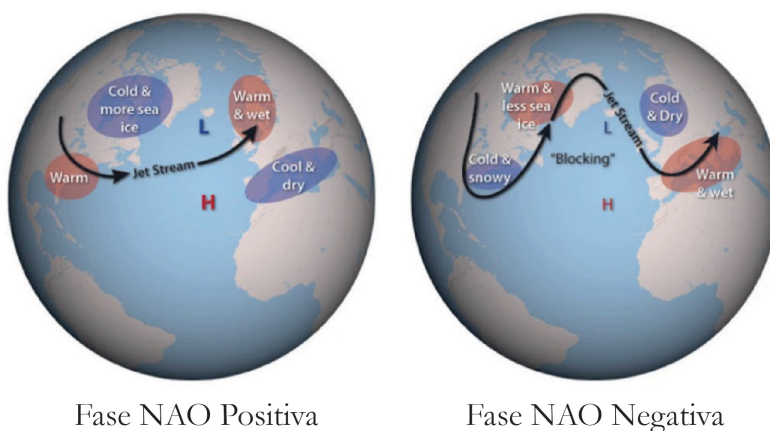


Fig. 8 - Ilustração das fases da Oscilação do Atlântico Norte (NAO)
(Fonte: NOAA Climate).

*Fig. 8 - Illustration of the North Atlantic Oscillation (NAO) phases
(Source: NOAA Climate).*

Os maiores valores de precipitação na Europa do Sul são registados durante a fase negativa do índice NAO, sendo propícios ao desenvolvimento de situações de cheias. Já a fase positiva deste índice, para a região da bacia mediterrânea, corresponde a ar mais frio e seco, levando à diminuição das temperaturas mínimas e provocando Invernos com valores de precipitação mais baixos (Mateus e Cunha, 2013). Um estudo conduzido por Comas-Bru e McDermott (2014) mostra que quando o EA se encontra numa fase positiva, a precipitação no Inverno é menor na maior parte da Europa Ocidental. De forma idêntica, durante a fase positiva do SCA, a precipitação para a mesma região situa-se abaixo do normal.

Pauling *et al.*, (2006) mostraram que a NAO é o modo climático que mais influência tem sobre a precipitação nos períodos de Inverno. No entanto, os resultados mostram também que a relação entre a precipitação e a circulação atmosférica em grande escala não é estável ao longo do tempo e sugere que esta variabilidade pode estar associada a alterações na configuração espacial da NAO e ao aumento do papel desempenhado por outros modos de circulação climática.

A correlação entre a NAO e a precipitação, segundo Kutiel e Trigo (2014) foi elevada durante todo o século XIX tal como para a segunda metade do século XX, sendo que o índice do Atlântico Este (EA) passou a ganhar mais relevância na sua ligação com a precipitação no início do século XX. Deste modo, confirma-se que outros modos de circulação climática para além da NAO, como o Atlântico Este e o índice da Escandinávia, contribuem significativamente para o regime de precipitação Ibérico (Comas-Bru e McDermott, 2014; Kutiel e Trigo, 2014).

Há uma correlação significativa do primeiro modo ACP de precipitação em Coimbra com o índice NAO ao longo dos 110 anos estudados, apresentando um coeficiente de correlação igual a -0,37 e correspondente valor-p inferior a 0,01 (fig. 9). Já no período de 1950 a 1990, o índice SCA apresenta uma maior correlação com o modo 1 do que o índice NAO, tendo um coeficiente de correlação igual a 0,3 e valor-p inferior a 0,05 sugerindo haver por isso também alguma influência deste modo de circulação atmosférica no regime de precipitação sentido em Coimbra.

Estes resultados estão em conformidade com os trabalhos referidos anteriormente, visto que a NAO apresenta uma correlação significativa para os 110 anos, e devido também ao facto de que a precipitação pode ser influenciada por outros modelos de circulação, nomeadamente o SCA. Este facto é mais uma indicação da qualidade da série secular de precipitação do OGAUC, dando garantias de que a série pode ser utilizada para estudos climatológicos vários, tal como por exemplo o risco de eventos hidrológicos extremos.

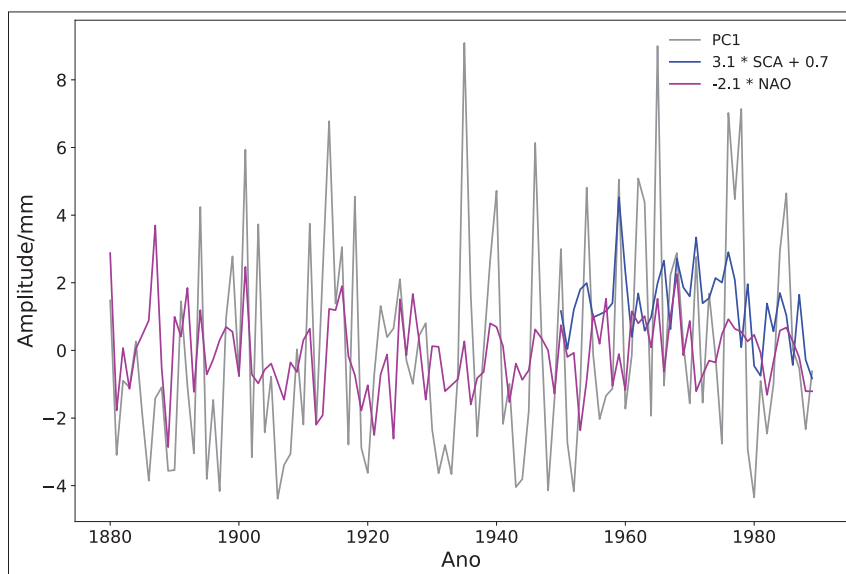


Fig. 9 - Comparação do primeiro modo (PC1) com os índices NAO e SCA.

Fig. 9 - Comparison of the First Mode (PC1) with the NAO and the SCA indexes.

Cheias em Coimbra

De maneira a visualizar mais facilmente a distribuição de anos de cheias, o total de precipitação dos anos hidrológicos para todo o período estudado é exibido em forma de gráfico, onde estão assinalados a vermelho os anos com cheias registadas (fig. 10). De acordo com esta figura, podemos verificar que nem todos os anos de maior precipitação em Coimbra são anos com registo de cheias.

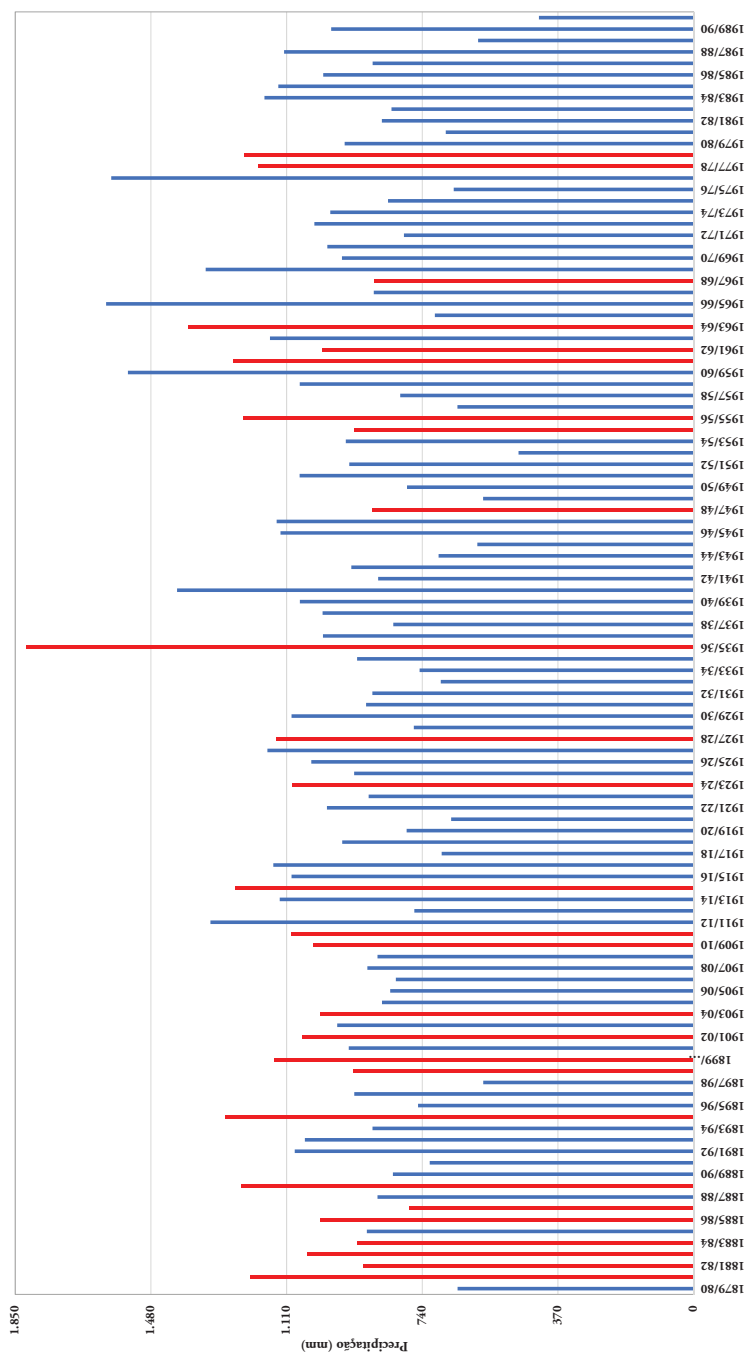


Fig. 10 - Distribuição dos totais anuais de precipitação ao longo do período de estudo com registro dos anos com cheias a vermelho.

Fig. 10 - Distribution of total annual rainfall over the study period with the flood years recorded in red.

Vejamos duas situações opostas no que concerne à relação entre a quantidade anual de precipitação e a ocorrência de episódios de cheia – a 10 de novembro de 1886 e a 2 de janeiro de 1962.

- O ano hidrológico 1886/1887 registou um total de precipitação na ordem dos 775,3 mm, sendo dos anos com cheia registada, aquele com menor taxa anual de precipitação. Os primeiros 3 meses, correspondentes a outubro, novembro e dezembro, registaram cerca de 53,2% do total anual, com 412,1 mm de precipitação. No entanto, a cheia deu-se a 10 de novembro, que fica aproximadamente a meio deste período de 3 meses. Ao analisar o mês de setembro, outubro e os 9 dias antecedentes ao pico de cheia, verificamos 319 mm de precipitação, sendo que cerca de 50% deste valor está concentrado no mês de outubro. Os 5 dias antecedentes ao pico de cheia registaram 98,3 mm, o que corresponde a cerca de 12,7% do total anual.
- Já para o caso de janeiro de 1962, este ano hidrológico apresenta um total anual mais elevado, com cerca de 1012,5 mm. O período de outubro a dezembro – correspondente aos 3 meses antecedentes à cheia – registou valores de precipitação na ordem dos 472,7 mm, o que representa cerca de 46,7% do total anual. De 28 de dezembro de 1961 a 1 de janeiro de 1962, correspondente a um período de 5 dias antecedentes ao pico de cheia, verifica-se cerca de 147,6 mm de precipitação nesta estação, refletindo cerca de 17,2% do total anual – o dia anterior ao pico de cheia apresenta um valor de 68,4 mm de precipitação.

Assim, a cheia de 1886 associa-se a um curto período de precipitação intensa, num ano relativamente seco, que fez com que houvesse aumento do caudal local e posterior cheia. Já no caso de 1962, verifica-se um período longo e intenso de precipitação, que levou a uma cheia de características excecionais, com várias inundações no Baixo Mondego, nas ruas da Baixa de Coimbra, tendo quase submerso o Convento de Santa Clara (fig. 11).

Para avaliar a influência da precipitação local no caudal do Mondego em Coimbra, a série de precipitação foi comparada ao caudal médio diário medido na Ponte Santa Clara, para o período de 1955 a 1985.



Fig. 11 - Aspeto do Convento Santa Clara na cheia de 2 de janeiro de 1962 (Fonte: Foto Hilda in I.Paiva, 2020).

Fig. 11 - *View of the Santa Clara Convent in the flood of 2 January 1962 (Source: Photo Hilda in I.Paiva, 2020).*

No caso específico da cheia de janeiro de 1962, observa-se uma aparente correlação entre os dois parâmetros com um atraso de cerca de 1 dia no sinal do caudal (fig. 12).

Para verificarmos se há o mesmo tipo de influência da precipitação no caudal do rio para períodos sem cheias registadas, foram escolhidos os dois anos hidrológicos mais chuvosos, mas que não possuem qualquer registo de cheias em Coimbra (1965/66 e 1976/77). O período observado corresponde aos meses de outubro a março, que é geralmente o período mais chuvoso (fig. 13 e 14). Em geral, é observada uma aparente correlação entre os dois parâmetros, embora por períodos de alguns dias ou semanas essa correlação pareça menos evidente ou mesmo inexistente. Este comportamento deve-se ao facto de o caudal do rio não ser unicamente fruto da precipitação sentida localmente, havendo contribuição de outros fatores, como explicado na Introdução.

Como último passo foi ainda analisado o comportamento da precipitação em anos de cheias em Coimbra, sendo para isso calculada a contribuição mensal para a precipitação anual em todos os anos com cheias registadas (fig. 15). Como podemos verificar nesta última figura, a curva média não é representativa da variabilidade em anos de cheias, em que as curvas são muito mais irregulares e a precipitação tende a concentrar-se num determinado mês. Por outro lado, a variabilidade em anos de cheias também não coincide com nenhum dos modos principais identificados pela ACP.

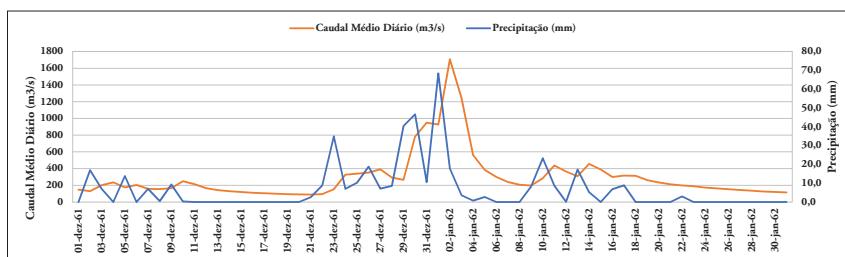


Fig. 12 - Comparação dos valores do caudal na Ponte Santa Clara com os valores de precipitação no IGUC para a cheia de janeiro de 1962 e o mês anterior (Fonte dos dados: SNIRH e IGUC).

Fig. 12 - Comparison of flow values at Santa Clara Bridge with rainfall values at IGUC for the January 1962 flood and the preceding month (Data Source: SNIRH and IGUC).

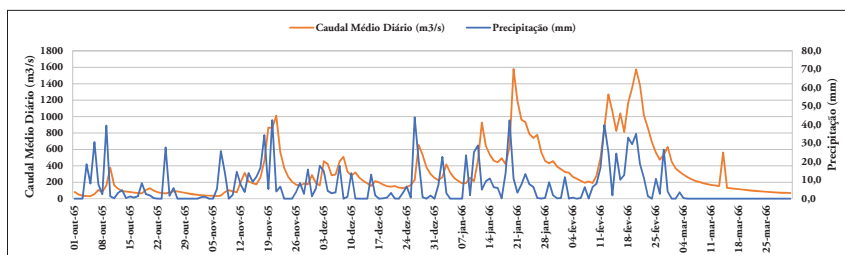


Fig. 13 - Comparação dos valores do caudal na Ponte Santa Clara com a precipitação no IGUC para o período outubro 1965 a março 1966 (Fonte dos dados: SNIRH e IGUC).

Fig. 13 - Comparison of flow values at Santa Clara Bridge with rainfall at IGUC for the period October 1965 to March 1966 (Data source: SNIRH and IGUC).

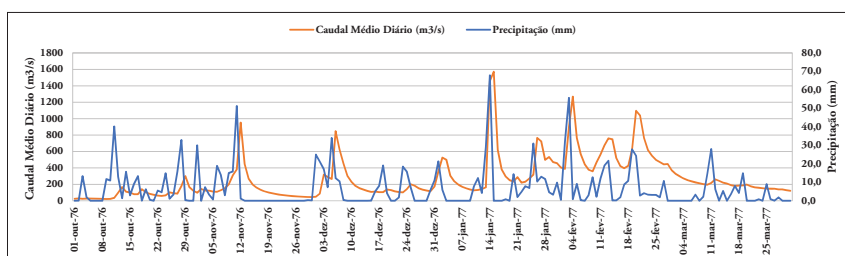


Fig. 14 - Comparação dos valores do caudal na Ponte Santa Clara com a precipitação no IGUC para o período outubro 1976 a março 1977 (Fonte dos dados: SNIRH, e IGUC).

Fig. 14 - Comparison of flow values at Santa Clara Bridge with rainfall at IGUC for the period October 1976 to March 1977 (Data source: SNIRH, and IGUC).

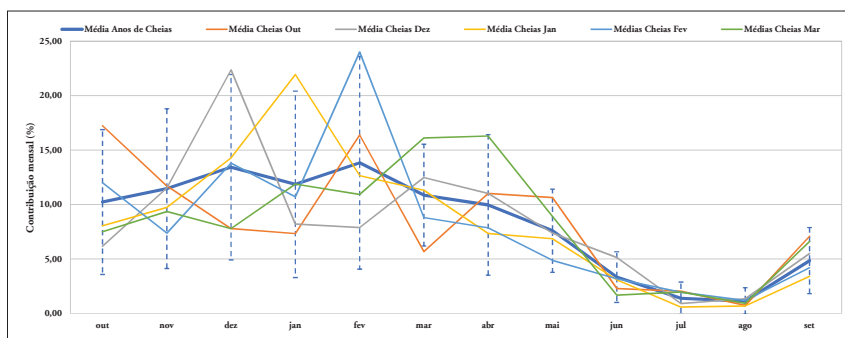


Fig. 15 - Variabilidade Média da contribuição mensal para a curva anual de precipitação para todos os anos com cheias registadas.

Fig. 15 - *Average Variability of the monthly contribution to the annual precipitation curve for all years with recorded floods.*

Conclusões

Este estudo procurou mostrar o potencial das longas séries de dados climatológicos disponíveis no OGAUC em estudos de avaliação da variação climática e de análise de riscos na região da Bacia do Mondego.

Através da análise estatística ACP, começámos por verificar que a variabilidade da precipitação em anos mais chuvosos em Coimbra apresenta um padrão característico ao longo do ano, com máximo em fevereiro e mínimo em maio. A amplitude desse modo correlaciona-se com os índices de variabilidade climática da região do Atlântico Norte, nomeadamente com a Oscilação do Atlântico Norte e com o Índice da Escandinávia.

Em seguida, verificámos que a correlação dos anos de cheias em Coimbra com os anos de maior precipitação anual é baixa.

Convém ter presente que este trabalho se remete a um período de tempo durante a maior parte do qual o rio Mondego se encontrava em regime natural, e que apenas se utilizaram dados de pluviosidade relativos à cidade de Coimbra. Para uma análise mais aprofundada, será necessário a inclusão de maior número de parâmetros de toda a Bacia do Mondego, nomeadamente intensidade e duração da precipitação noutros pontos da bacia, caudal, uso e ocupação do território, características geomorfológicas da bacia, entre outros.

As séries de dados do OGAUC são testemunhos seculares, únicos, das variações climatológicas observadas na cidade desde há mais de 150 anos. Em breve, esperamos disponibilizá-las a partir do servidor do OGAUC, para sua valorização em estudos diversos.

Agradecimentos

Projeto HISTIGUC “150 anos do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra: história e património das ciências da Terra e Ambiente em Portugal” (PTDC/FER-HFC/30666/2017).

Referências

- Comas-Bru, L., & McDermott, F. (2014). Impacts of the EA and SCA patterns on the European twentieth century NAO-winter climate relationship. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140(679), 354–363. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.2158>
- Cunha, P. P. (2002). Vulnerabilidade e risco resultante da ocupação de uma planície aluvial - o exemplo das cheias do rio Mondego (Portugal central), no inverno de 2000/2001. *Territorium*, (9), 13–35. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_9_2
- Custodio, S., Batllo, J., Martins, D., Antunes, F., Narciso, J., Carvalho, S., Gomes, C. R. (2012). Station COI: Dusting Off an Old Seismic Station. *Seismological Research Letters*, 83(5), 863–869. DOI: <https://doi.org/10.1785/0220120014>
- Graça, M. A., Pardal, M. Â., e Marques, J. C. (2002). Aquatic ecology of the Mondego River basin global importance of local experience. *Aquatic Ecology of the Mondego River Basin Global Importance of Local Experience*. DOI: <https://doi.org/10.14195/978-989-26-0336-0>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Kutiel, H., & Trigo, R. M. (2014). The rainfall regime in Lisbon in the last 150 years. *Theoretical and Applied Climatology* 2014 118:3, 118(3), 387–403. DOI: <https://doi.org/10.1007/S00704-013-1066-Y>
- López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Kenawy, A., & Beniston, M. (2011). Effects of the North Atlantic Oscillation (NAO) on combined temperature and precipitation winter modes in the Mediterranean mountains: Observed relationships and projections for the 21st century. *Global and Planetary Change*, 77(1–2), 62–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2011.03.003>

- Lourenço, A., Carvalho, S., Barata, T., Garcia, A., Carrasco, V., & Peixinho, N. (2019). Solar observations at the Coimbra Astronomical Observatory. *Open Astronomy*, 28(1), 165–179.
DOI: <https://doi.org/10.1515/astro-2019-0015>
- Mateus, C., e Cunha, L. (2013). A Oscilação do Atlântico Norte (NAO) e riscos climáticos em Coimbra durante o inverno entre 1950 e 2010. *Territorium*, (20), 37–47.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_20_3
- Modrick, T. M., e Georgakakos, K. P. (2015). The character and causes of flash flood occurrence changes in mountainous small basins of Southern California under projected climatic change. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 312–336. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.02.003>
- Nicolau, R. (2002). *Modelação e Mapeamento da Distribuição Espacial da Precipitação - Uma Aplicação a Portugal Continental*. Universidade Nova de Lisboa.
- Oliveira, W., Cunha, L., e Paiva, I. (2017). A influência da Oscilação do Atlântico Norte nos caudais dos rios Vouga e Mondego – relevância na manifestação de cheias e inundações. *GOT - Journal of Geography and Spatial Planning*, (12), 255–279. DOI: <https://doi.org/10.17127/got/2017.12.011>
- Paiva, I. (2020). *Risco de Inundação em Coimbra. Fatores físicos e ação antrópica. As inundações urbanas e as cheias do Mondego (1950/51 - 2003/04)*. (Fundação Eng. António de Almeida, Ed.).
- Pauling, A., Luterbacher, J., Casty, C., e Wanner, H. (2006). Five hundred years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation. *Climate Dynamics*, 26(4), 387–405. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-005-0090-8>
- Portela, M., Samora, M., Delgado, J. F., Sousa, A., Henriques, J., e Vieira, R. (2012). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis (Caracterização Climatológica)*.
- Ribeiro, L. T., e Gamito, T. M. (2012). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis (Caracterização Geológica e Geomorfológica)*.
- Rocha, J. S. (1995). Prevenção de inundações e reabilitação de edifícios em zonas inundáveis. *Territorium*, (2), 11–20. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_2_2
- Rodrigues, R., Brandão, C., e Pinto Da Costa, J. (n.d.). *Hidrologia das cheias do Mondego de 26 e 27 de Janeiro de 2001*. Retrieved from https://snirh.apambiente.pt/snirh/download/relatorios/cheias_mondego_2001.pdf
- Santos, Á. J. B. A. (2019). Validação Regional De Estimativas De Precipitação Obtidas Por Satélite (IMERG) Na Bacia Hidrográfica Do Rio Mondego. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Retrieved from <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/93637>
- Santos, B. C., Sanches, R. G., Silva, M. S. D., Kayano, T. Y. K., de Souza, P. H., e Tech, A. R. B. (2018). Análise do efeito orográfico por meio da interpolação de índices climáticos. *Revista de Geografia-PPGEO-UFJF*, 8(2), 114-132.
- Santos, V. G. de S. e. (1995). *Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (bosquejo histórico)* (n. p). Coimbra.
- SNIRH. (n.d.). Dados de Base. Retrieved July 26, 2021, from <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>

**ESTUDO DAS INUNDAÇÕES DO RIO MONDEGO A
JUSANTE DA CONFLUÊNCIA DO RIO CEIRA
ATÉ À PONTE AÇUDE**

**STUDY OF THE RIVER MONDEGO FLOODS
DOWNSTREAM FROM THE RIVER CEIRA
CONFLUENCE TO THE BRIDGE WEIR [PONTE-AÇUDE]**

Teresa Fragoso* **

ORCID: 0000-0002-0886-1652
terefrag@isec.pt

António Moura Correia*

ORCID: 0000-0001-9199-7659
antonio.correia@isec.pt

João Bravo*

joaopedrobravo15@gmail.com

Luís Araújo Santos* ***

ORCID: 0000-0002-0945-3175
lmsantos@isec.pt

*Instituto Politécnico de Coimbra

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Departamento de Engenharia Civil (Portugal)

**i2A Instituto de Investigação Aplicada, IPC

***CITTA - Centro de Investigação do Território, Transportes e Ambiente

Resumo: As inundações do Rio Mondego na cidade de Coimbra, nomeadamente na região do Baixo Mondego (planícies dos arrozais de Montemor-o-Velho) têm vindo a ocorrer mais recorrentemente. No entanto, não existe uma metodologia científica de apoio à decisão, que possibilite um aviso atempado às populações. Com vista ao desenvolvimento de uma metodologia de previsão de cheias, considera-se uma secção de estudo do Rio Mondego, com 6 km localizada entre a confluência do Rio Ceira com o Rio Mondego e a Ponte do Açude. Utilizando o Hec-Ras, um software de modelação dinâmica, modelaram-se situações de escoamento variado

unidimensional e bidimensional, para vários cenários, incluindo o transporte de sedimentos e a análise da qualidade da água entre outros cálculos hidráulicos. Os resultados obtidos potenciam o planeamento de operações de Proteção Civil, envolvendo o aviso às populações, em situações de precipitações elevadas na bacia hidrográfica do Rio Mondego.

Palavras-chave: Modelação, inundações, Mondego.

Abstract: The River Mondego has been flooding more often recently in the city of Coimbra, particularly in the Baixo Mondego region (the rice field plains of Montemor-o-Velho). However, there is no scientific decision-support approach that would provide local people with a timely warning. Aiming to develop a flood forecasting methodology, a 6 km study section of the river Mondego is considered, located between the confluence of the river Ceira and the Ponte do Açude bridge across the River Mondego. Using Hec-Ras, a dynamic modelling software, one-dimensional and two-dimensional varied flow situations are modelled for various scenarios, including sediment transport and water quality analysis, among other hydraulic calculations. The results will enhance the planning of civil protection operations, involving warning local residents in situations of high rainfall in the Mondego River watershed.

Keywords: Modelling, flooding, Mondego.

Introdução

O rio Mondego drena uma bacia com uma área total de 6645 km² (Rocha e Freitas, 1998), tem uma orientação dominante Nordeste-Sudoeste (Louro e Lourenço, 2005). Segundo estes autores, a sua bacia é a maior bacia totalmente em território português. Ao longo do seu percurso, o rio Mondego recebe as águas dos rios seus afluentes, sendo eles o Dão, na margem direita, o Alva, o Ceira, o Ega (ou Rio dos Mouros), o Arunca e o Pranto na margem esquerda

Grande parte do percurso, até Coimbra, (chamado Alto Mondego ou Mondego Superior) faz-se através de um vale bastante encaixado em rochas metamórficas e granito, na Cordilheira Central. O troço terminal (designado por Baixo Mondego), com cerca de 40 km, percorre uma planície aluvial, extremamente fértil e onde se localizam alguns dos mais produtivos arrozais da Europa (Louro e Lourenço, 2005).

A bacia hidrográfica do rio Mondego, na qual se localizam inúmeros aproveitamentos hidráulicos, tem uma precipitação média anual de 1233 mm (ARH, 2012) e um caudal médio anual de 108,3 m³/s. A capacidade total de armazenamento nas albufeiras localizadas nesta bacia é cerca de 540 hm³.

A causa principal da ocorrência das cheias nos rios é a incidência de precipitações intensas. A dimensão da bacia hidrográfica e o tipo de acontecimento meteorológico governam as características das cheias, as quais no rio Mondego relativamente rápidas, com tempos entre o início de cheia e o pico do caudal da ordem das poucas horas, podendo ser particularmente perigosas devido ao aumento brusco do nível de escoamento.

As cheias no rio Mondego ocorrem desde, pelo menos, o século XIV, afetando a vida de uma importante cidade como Coimbra, e das suas populações vizinhas.

Pode constatar-se que as cheias designadas como importantes tiveram um período de retorno de cerca de 50 anos. Pode ainda verificar-se que, nos dois últimos séculos, com a mesma análise empírica, as cheias importantes têm um período de retorno de 20 anos. Tornava-se, assim, evidente a necessidade de intervenção para controlar as cheias, uma vez que estes fenómenos excecionais têm vindo a verificar-se cada vez com maior frequência (fot. 1).

Com a construção das barragens da Aguieira e da Raiva, bem como do açude de Coimbra, foram construídos novos leitos aluvionares, incluindo 7,7 km de diques

de defesa, uma dragagem de 16 hm³ e revestimentos de enrocamentos com um volume de 0,5 hm³. Os caudais de cheia em Coimbra eram da ordem dos 2500 m³/s, sendo amortecidos para 1200m³/s através dos dois aproveitamentos referidos anteriormente (Loureiro *et al.*, 1986).



Fot. 1 - Cheia na cidade de Coimbra em 2019 (Fonte: <https://www.saudemais.tv/noticia/2134-cheias-no-mondego-com-diminuicao-do-grau-de-risco>).

Photo 1 - Flood in the city of Coimbra in 2019 (Source: <https://www.saudemais.tv/noticia/2134-cheias-no-mondego-com-diminuicao-do-grau-de-risco>)

Caracterização do troço em estudo

O troço em estudo tem início na secção imediatamente a jusante da confluência do Rio Ceira com o Rio Mondego e termina na secção imediatamente antes da Ponte do Açude, com uma extensão de cerca de 6 km (fig. 1).

No início do troço o rio é ladeado por uma flora diversificada, choupos, salgueiros, freixos, amieiros e terrenos ocupados por campos de cultivo, sendo a natureza do solo arenosa, formando-se em alguns subtroços pequenas praias fluviais. Com a aproximação à cidade de Coimbra as margens tornam-se cada vez mais urbanas e o rio é murado em grande parte da sua extensão. A inclinação deste troço do Rio Mondego é reduzida fazendo com que perca velocidade, o que entre outros fatores, favorece o seu assoreamento e facilita a inundação.



Fig. 1 - Vista aérea do troço em estudo (Fonte adaptado de Google, n. d.).

***Fig. 1** - Aerial view of the stretch under study (Source adapted from Google, n. d.).*

Dados de base

O trabalho que se propõe reúne os dados disponibilizados por diversas fontes de informação, entre as quais se salientam Cartas Militares, Modelo Digital do Terreno, valores de rugosidade do leito e das margens e caudais de cheia (hidrogramas de cheia).

Modelo digital do terreno

O Modelo Digital do Terreno (MDT) consiste num modelo altimétrico que representa as cotas topográficas ao nível do terreno, sendo um elemento essencial para a execução da simulação de cheia, pois fornece dados fundamentais ao estudo que se propõe nesta comunicação.

O MDT do território nacional encontra-se disponível na internet, tendo sido descarregado e trabalhado num software de sistema de informação geográfica, designadamente o ArcGis.

Os dados relativos aos caudais de cheia foram facultados pelo Serviço Municipal de Proteção Civil (SMPC) de Coimbra, mais concretamente os dados relativos às últimas cheias ocorridas nesta cidade em dezembro de 2019. Esta informação é complementada com os dados de estações hidrométricas localizadas no troço em apreço. Devido à falta de dados referente às estações hidrométricas a montante da confluência do rio Ceira com o rio Mondego opta-se por utilizar os dados da estação hidrométrica da Ponte do Açude. Embora esta consideração possa acarretar erros nos dados de entrada, uma vez que as contribuições em termos de afluentes ao rio Mondego não são significativas desde a primeira secção do troço em estudo até à Ponte Açude, acredita-se que esta decisão não afete de forma significativa os resultados apresentados.

Metodologia

O estudo que se propõe foi realizado recorrendo ao programa HEC-RAS, que foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos para modelar os rios, portos e outras obras públicas sob sua jurisdição. Em 1995, este software foi aberto para utilização do público em geral. O Hec Ras é um pacote integrado de programas de análise hidráulica, no qual o utilizador interage com o sistema através do uso de uma interface gráfica. Entre as suas várias valências, o programa: i) executa cálculos do perfil da superfície da água com escoamento constante; ii) realiza a modelação de escoamento variado unidimensional e bidimensional; iii) modela o transporte de sedimentos e iv) analisa a qualidade da água bem como outros parâmetros hidráulicos do escoamento (Ferreira e Cunha, 1970). Foi utilizada a extensão do programa Hec-Ras 2D Modeling (River Analysis System), por forma a se obterem áreas de inundação para diferentes cenários. No presente estudo foi considerado o escoamento não permanente bidimensional.

Aplicação do modelo

Partindo do MDT, no programa ArcGis, realizou-se um recorte do concelho de Coimbra onde o troço em estudo se insere (fig. 2). Este novo modelo foi, seguidamente editado, melhorando a simbologia nele incluída e, consequentemente, a sua compreensão.

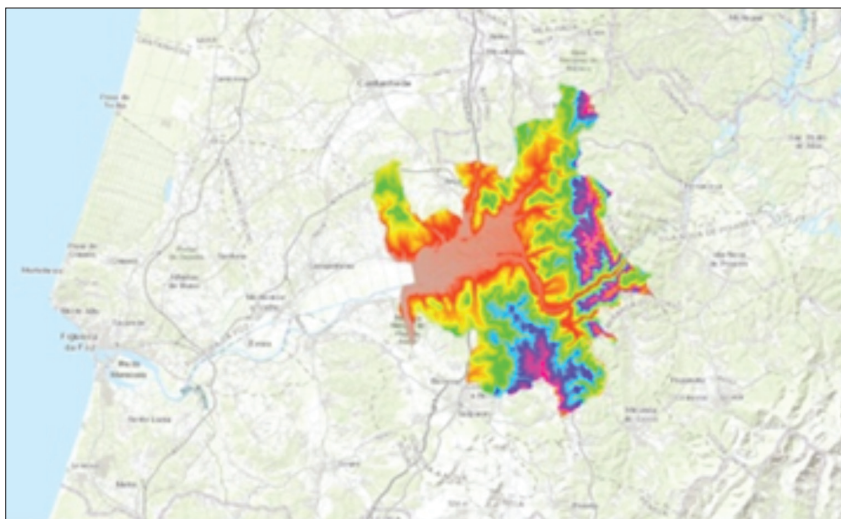


Fig. 2 - MDT do Concelho de Coimbra obtido no ArcGis.

Fig. 2 - DTM of Coimbra District obtained from ArcGis.

Após a definição da área de estudo e a introdução do MDT no Hec-Ras, o rio foi traçado sobre o MDT. Este procedimento foi apoiado pela ferramenta Google Maps, tendo sido necessário criar uma layer específica no Hec-Ras para este efeito. Posteriormente, foram delimitadas ainda as designadas *Bank Lines* (margens do rio) e definido o sentido do escoamento (fig. 3) (Alves e Mendes, 2014).

Findos os procedimentos anteriores, foram inseridas 13 secções transversais. Na definição do número de secções, considerou-se uma distância de 500m entre as mesmas, otimizando tanto a simulação do leito do rio como o processo de cálculo. Após definição, no Hec-Ras, dos segmentos transversais ao rio, representativos da localização de cada secção, sobre o MDT, todos os quadros relativos à caracterização

das secções transversais foram preenchidos automaticamente com base nos dados fornecidos pelo MDT, obtendo-se o modelo tridimensional do caso de estudo fig. 4a), cuja última secção transversal (fig. 4b) é um exemplo.

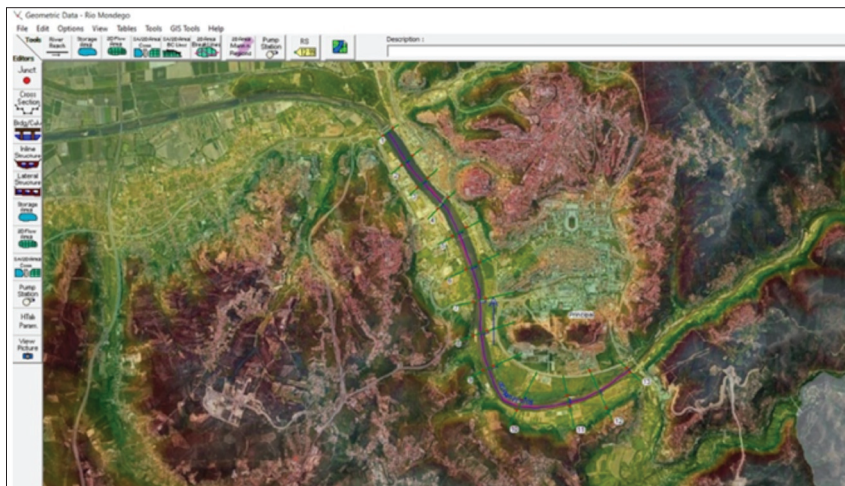


Fig. 3 - Traçado do rio, delimitação das *Bank Lines* e indicação do sentido de escoamento sobre o MDT com indicação das secções transversais.

Fig. 3 - Stretch of river, delimitation of the Bank Lines and indication of the flow direction over the DTM with indication of the cross sections.

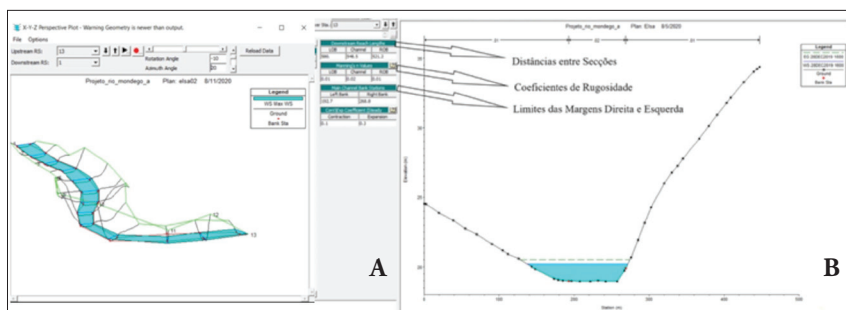


Fig. 4 - Perfis transversais da secção em estudo:

a) perfil 3D do troço; b) perfil transversal da secção 13.

Fig. 4 - Cross sections of the stretch under study:

a) 3D profile of the stretch; b) cross section of sub-stretch 13.

Valores da rugosidade do leito e das margens

A velocidade de escoamento e, consequentemente, o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é altamente dependente da rugosidade das encostas da bacia. Nesse sentido, a correta definição dos coeficientes de Manning (n) é primordial para a correta simulação de cheia que se pretende efetuar. Nesse sentido, foram efetuados dois cálculos. No Cálculo 1, utilizaram-se os coeficientes propostos, por defeito, pelo software Hec-Ras. Note-se que estes valores não têm em consideração o estado atual da vegetação nas margens do rio. Assim, nas margens esquerda e direita foram considerados valores de $n=0,01$, enquanto que no leito do rio, foi utilizado um valor de 0,02 para o coeficiente de Manning (fig. 6).

No Cálculo 2, os coeficientes de Manning foram ajustados à composição vegetal do terreno, tendo em consideração o manual do programa. Ao longo do troço em estudo, três tipos de situações foram identificados (fig. 7). O início do troço caracteriza-se por uma zona de cheia do rio Mondego coberta com arbustos dispersos e ervas daninhas de médio/grande porte numa das margens e áreas cultivadas na outra margem. Face a estas coberturas vegetais, adotam-se os valores de $n=0,05$ e $n=0,4$, respetivamente. Mais perto da zona da Baixa de Coimbra, o rio Mondego escoia entre paredes de pedra com juntas em argamassa, tendo-se adotado o valor $n=0,02$ para as duas margens. Por fim, todo o leito do rio na secção estuda foi simulada com $n=0,35$, valor típico para canais limpos, retos e sem fendas, apresentando pedras e ervas daninhas (Lencastre, 1980; Cunha, 1969).

Condições de fronteira – Hidrógrafo de cheia

Com os dados da estação hidrométrica da Ponte Açude é possível traçar o hidrograma de cheia ao longo de vários dias e com um intervalo de 1 hora referente à secção 13 (fig. 5), imediatamente a jusante da confluência com o rio Ceira. Como já foi referido, foram utilizados os valores da estação hidrométrica da Ponte Açude. Os dados relativos aos caudais ocorridos entre o dia 13 de dezembro e o dia 31 de dezembro de 2019 foram disponibilizados pelo Serviço Municipal de Proteção Civil

de Coimbra. Durante esse período o pico de Cheia deu-se no dia 21 de dezembro pelas 14:00 horas com um caudal afluyente à entrada (na secção 13) de 2173.30 m³/s. Este caudal corresponde sensivelmente à cheia milenar (Alves e Mendes, 2014).

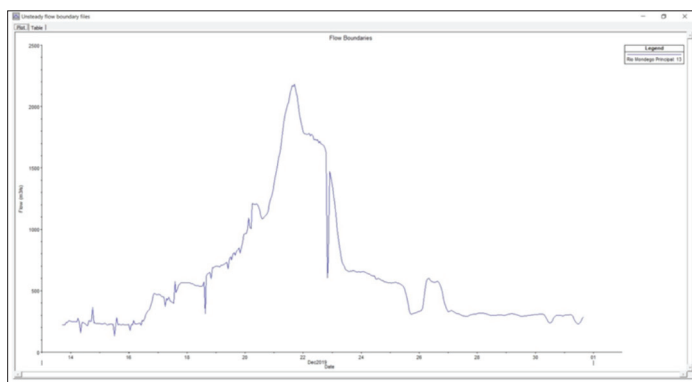


Fig. 5 - Hidrógrafo de cheia.

Fig. 5 - Hydrograph of flood.



Fig. 6 - Área inundada no Cálculo 1: a) vista global; b) pormenor de zona de cheia.

Fig. 6 - Flooded area in Calculation 1: a) overall view; b) flood zone detail.



Fig. 7 - Área inundada no Cálculo 2: a) vista global; b) pormenor de zona de cheia.

Fig. 7- Flooded area in Calculation 2: a) overall view; b) flood zone detail.

De salientar um pormenor da margem sul do Parque Verde da Cidade de Coimbra, onde se situa a Praça da Canção. Como se pode verificar, da modelação efetuada no Cálculo 2, a área inundada obtida ajusta-se satisfatoriamente ao evento ocorrido em dezembro de 2019 (fig. 8). De facto, comparando a fig. 8 com a fotografia ilustrada na fot. 1, observa-se que a simulação numérica foi capaz de prever a inundação dos armazéns do Clube Fluvial de Coimbra até às Piscinas do Mondego, junto ao Exploratório. Note-se, porém, que o modelo não foi capaz de simular as inundações observadas na Quinta das Lágrimas, no Convento de Santa Clara-a-Velha e nas ruas das Parreiras e Helena Carrington, em Santa Clara.

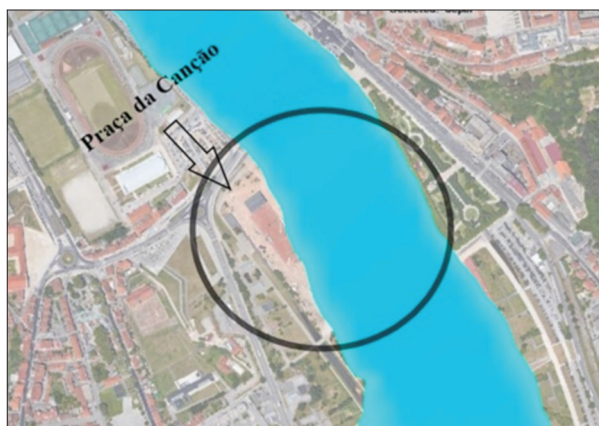


Fig. 8 - Pormenor da zona inundada na praça da canção resultante do Cálculo 2.

Fig. 8 - Detail of the flooded area in the Praça da Canção from Calculation 2.

Conclusões

No presente estudo procura avaliar-se a adequabilidade da utilização de programas de simulação dinâmica de Precipitação-Escoamento como ferramenta para a previsão de cheias. Como caso de estudo foi adotado o evento de cheia do rio Mondego, ocorrido em dezembro de 2019, na cidade de Coimbra. Pela análise feita verifica-se que o coeficiente de rugosidade de Manning tem uma forte relevância nos resultados obtidos sendo um parâmetro crucial na calibração do programa, pelo que o conhecimento rigoroso da cobertura vegetal nas margens do rio se torna fundamental.

Por um lado, pequenas alterações nos valores adotados vão repercutir-se nas áreas inundadas, verificando-se que este parâmetro deve ser selecionado com rigor. Esta conclusão resulta da comparação de dois cálculos efetuados em que apenas os coeficientes de Manning para as duas margens e o leito do rio variam. No Cálculo 2, os valores de Manning, foram adotados em função das coberturas vegetais disponíveis na base de dados do programa Hec-Ras que melhor se adequam à realidade observável in-situ (Lencastre e Franco, 1984; Belo, 1992).

Da modelação obtida resultam duas conclusões:

Um conhecimento mais aprofundado da utilização do solo e/ou uma discretização de secções mais refinada é fundamental para simulações numéricas mais realistas (Ramos, 2009).

Tendo por base as cheias de 2019, a retroanálise das áreas de cheias reais fornece uma oportunidade única para calibrar os coeficientes de rugosidades no leito do rio Mondego entre a Quinta da Portela e a ponte do Açude para, deste modo, melhorar os mecanismos de alerta de inundação da cidade de Coimbra.

Bibliografia

- Alves, E., Mendes, L. (2014). Modelação da inundação fluvial do baixo Mondego. *Revista Recursos Hídricos* 35 (2), 41-54. DOI: <http://dx.doi.org/10.5894/rh35n2-4>
- ARH (2012). *Plano de gestão das bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis integrados na região hidrográfica 4 – Parte 2- Caracterização geral e diagnóstico*. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território.
- Belo, J. C. (1992). Transporte do rio Mondego entre os açudes da Raiva e de Coimbra. Apresentação e caracterização da informação de base recolhida. 2.º Relatório, *Relatório 184/92-NHNF*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Cunha, L. V. (1969). *Regularização do rio Mondego a jusante de Coimbra. Estudo de transporte sólido*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Ferreira, J. F., Cunha, L. V. (1970). The regulation of Mondego river. Study of sediment discharge in prototype and description of the help given by a mathematical and a physical model in the solution of the problem. *Memória 359*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Google (n.d). Mapa de Coimbra. Retirado de <https://www.google.pt/maps/@40.1958746,-8.4162864,5844m/data=!3m1!1e3>
- Lencastre, A. (1980). Controle de cheias, irrigação e drenagem da planície do Mondego. *Revista Recursos Hídricos* 1 (3), 29-42
- Lencastre, A., Franco, F. M. (1984). *Lições de hidrologia*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Loureiro, J. M., Almeida, M. C., Machado, M. L., Teixeira, E. (1986). Bacia hidrográfica do rio Mondego. *DGRAH, Monografias hidrológicas dos principais cursos de água em Portugal continental*. Lisboa, 239-278.
- Louro, S., Lourenço, L. (2005). O Comportamento hidrológico do rio Mondego perante valores de precipitação intensa, em Coimbra. *Territorium* (12), 19-27.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_12
- Ramos, C. (2009). *Dinâmica fluvial e ordenamento do território*. Centro de Estudos Geográficos. Universidade de Lisboa.
- Rocha, J. S., Freitas, H. (1998). O rio Mondego. O ambiente fluvial e a sua ecologia. *Atas do 4.º congresso da Água*, Lisboa.

**CONTRIBUTOS DO LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA
DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA PARA O ESTUDO
DAS CHEIAS NA REGIÃO DE COIMBRA**
**CONTRIBUTIONS OF THE HYDRAULICS LABORATORY
OF THE UNIVERSITY OF COIMBRA TO THE STUDY
OF FLOODS IN COIMBRA REGION**

José Alfeu Sá Marques

Universidade de Coimbra, INESC
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Dep. de Engenharia Civil (Portugal)
ORCID: 0000-0001-6859-6662 jasm@dec.uc.pt

Nuno Eduardo Simões

Universidade de Coimbra, INESC
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Dep. de Engenharia Civil (Portugal)
ORCID: 0000-0002-4500-7981 nunocs@dec.uc.pt

Fernando Seabra Santos

Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Dep. de Engenharia Civil (Portugal)
fseabra@ci.uc.pt

Resumo: As cheias do Rio Mondego têm afetado Coimbra e a sua população, bem como as localidades e campos situadas a jusante, desde tempos imemoriais. As mais antigas tentativas de resolução deste problema basearam-se em medidas não estruturais, sendo muito significativa a ocorrida no reinado de D. Afonso V. A partir do século XVIII foram iniciadas intervenções, que já se podem classificar de estruturais e que tiveram o seu início com a de Estevão Cabral, tendo vindo a culminar com o Plano Geral do Aproveitamento Hidráulico da Bacia do Mondego já no final do século XX. Após a conclusão, ainda que

parcial, destes trabalhos em 1981, as áreas ribeirinhas envolventes do rio Mondego beneficiaram de um período de cerca de vinte anos de ausência de eventos de inundações significativos. Na sequência das inundações de 2000/2001 e 2016 foi solicitado ao Laboratório de Hidráulica da Universidade de Coimbra uma análise destes eventos e da gestão e operação das barragens.

Palavras-chave: Cheias, modelação e modelos hidrológico-hidráulicos, condições de escoamento, procedimentos de alerta.

Abstract: Since immemorial times the River Mondego's flooding has affected Coimbra and its population as well as localities and fields located downstream. The oldest attempts to solve this problem were based on non-structural measures, with the one implemented in the reign of D. Afonso V being very significant. From the eighteenth century onwards, interventions were attempted that can already be classified as structural, starting with one by Estevão Cabral and culminating in the Mondego Watershed Hydraulic Plan at the end of the twentieth century. After its conclusion, albeit only partial, in 1981, the riverside areas surrounding the Mondego benefited from a period of nearly twenty years without significant flooding events. Following the floods of 2000/2001 and 2016, the Hydraulic Laboratory of the University of Coimbra was asked to carry out studies to analyse these events and the management and operation of dams.

Keywords: Floods, modeling and hydrological-hydraulic models, flow conditions, alert procedures.

Introdução

Após a construção, ainda que incompleta, e a entrada em funcionamento do designado Aproveitamento Hidráulico do rio Mondego em 1981-82, decorreu um período de cerca de 20 anos em que os eventos de grandes cheias deixaram de se sentir, quer na cidade de Coimbra, quer nos campos do baixo Mondego.

No ano de 2001 ocorreu uma cheia de elevado significado, com valores de caudal superiores a 2 000 m³/s em Coimbra, que alertou as autoridades para a necessidade de se analisar o que ocorreu e de se identificarem as suas causas, pois as obras da Coimbra Polis encontravam-se no início, tendo ficado submersa grande parte da área que iria ser intervencionada.

Deste modo, a Sociedade Coimbra Polis contratou a Universidade de Coimbra, através do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciência e Tecnologia, para a realização de um estudo detalhado do que teriam sido as causas e quais as possibilidades de repetição das inundações na sua área de intervenção. Em resultado deste estudo foi produzido um documento intitulado “Estudo Hidráulico e Hidrológico do rio Mondego na Zona de Intervenção do Programa POLIS em Coimbra”.

Por outro lado, dada a enorme pressão urbanística sobre os terrenos marginais ao rio na sequência de um período de cerca de duas décadas sem grandes cheias fluviais, também a Câmara Municipal de Coimbra solicitou ao Departamento de Engenharia Civil, através do Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, a elaboração de estudos que analisassem e avaliassem os riscos de inundações em diversas zonas do concelho. Respondendo a este pedido, foi elaborado um extenso documento intitulado «Estudos de Hidrologia Urbana. Relatório Final», concluído em 2007.

Como resultado deste estudo foram adoptadas diversas regras e condicionantes que se plasmaram no Plano Diretor Municipal e foram a base para o desenvolvimento dos planos diretores de drenagem de todas as linhas de água do concelho executados pelas AC, ÁGUAS DE COIMBRA, E.M..

Finalmente, na sequência da cheia ocorrida no mês de janeiro de 2016, a Ordem dos Engenheiros foi instada, pelo Ministro do Ambiente, a estudar as razões

do ocorrido, tendo aquela solicitado aos Departamentos de Engenharia Civil das Universidades de Coimbra e do Minho a realização de um estudo que culminou na apresentação de um documento intitulado “Caracterização das Condições de Escoamento do Rio Mondego que deram Origem às Inundações em Coimbra em janeiro de 2016”.

Esse estudo foi concluído e entregue em junho de 2016 e apresentado ao público numa sessão realizada no dia 17 de janeiro de 2017, pelas 15:30, no Salão Nobre da Câmara Municipal de Coimbra.

A bacia hidrográfica do Mondego

O rio Mondego, o segundo maior rio em área de bacia hidrográfica, com nascente e foz totalmente em território nacional, diferencia-se do rio Sado, o maior (7 692 km² do Sado vs 6 645 km² do Mondego), fundamentalmente pelo facto do seu escoamento médio ser cerca de três vezes e meia superior ao do Sado (3 400 hm³ vs. 1 000 hm³), apesar da menor dimensão da sua bacia. As características orográficas e pluviométricas das bacias estão na origem destas diferenças.

A bacia hidrográfica do rio Mondego pode ser classificada em termos orográficos como constituído por três zonas; o alto Mondego, o médio Mondego e o baixo Mondego.

O alto Mondego é caracterizado por ter origem na serra da Estrela a uma altitude de 1525 m, correndo num vale extremamente encaixado num percurso de cerca de 100 km, até uma altitude de 400m, na proximidade de Celorico da Beira. Aí tem início o médio Mondego que se prolonga, numa extensão de cerca de 150 km e até uma altitude de 50 m nas proximidades de Coimbra, de onde segue por 50 Km até ao oceano Atlântico, na Figueira da Foz.

Ora, quer através do perfil longitudinal, quer por meio de representações características das secções transversais de cada uma das três zonas (fig. 1) pode-se de imediato constatar das condições físicas naturais para a ocorrência de cheias no baixo Mondego.

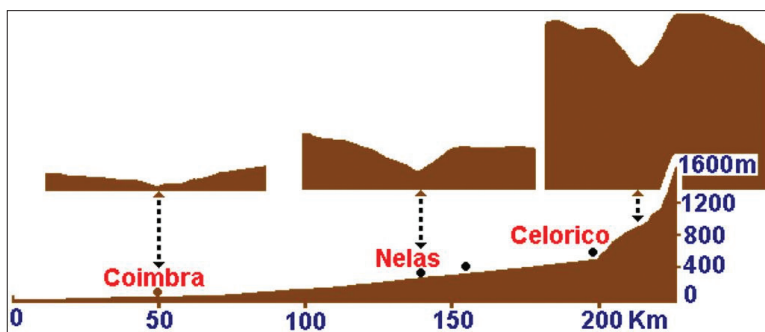


Fig. 1 - Secções transversais tipo e perfil longitudinal do Rio Mondego
(Fonte: A. Amorim Girão, 1960).

Fig. 1 - Type of cross sections and longitudinal profile of the River Mondego
(Source: A. Amorim Girão, 1960) .

Por sua vez, na representação em planta da bacia do rio Mondego, pode observar-se que até à confluência do rio Dão, afluente da margem direita e um pouco antes da foz do rio Alva, afluente da margem esquerda, se situam cerca de 56% da área da bacia do Mondego, aí recebendo a contribuição dos seus maiores afluentes tanto em termos de área drenante como de precipitações, atendendo às altitudes das suas nascentes (fig. 2).

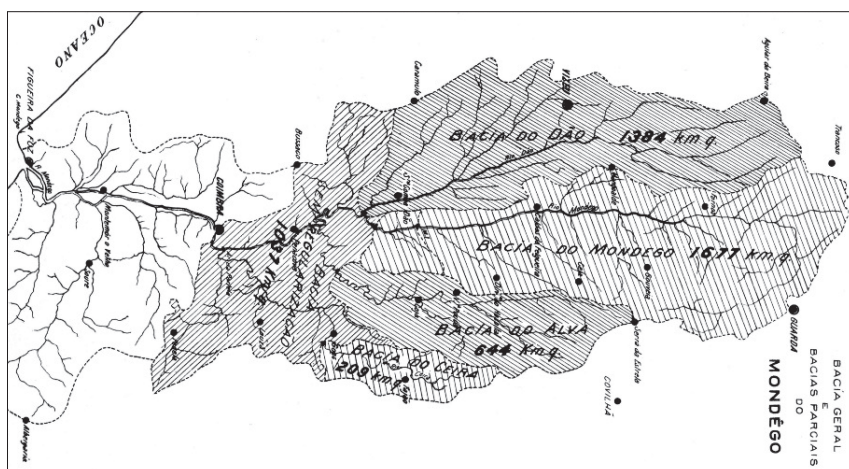


Fig. 2 - Delimitação da bacia geral e das bacias parciais do Rio Mondego (Fonte: R. Sanches, 1996).

Fig. 2 - Main watershed and subwatersheds of Mondego River (Source: R. Sanches, 1996).

Até Coimbra recebe ainda um afluente, da sua margem esquerda e as afluições da bacia própria do Mondego representando uma contribuição de cerca de 18% da área total da bacia, sendo que os restantes 26% correspondem à bacia própria a jusante de Coimbra e aos mais significativos afluentes do curso inferior, os dois na margem esquerda: Arunca e Pranto.

Uma história mais antiga

Como engenheiros civis e hidráulicos desde muito cedo fomos tendo contacto com alguns mestres do Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. Alguns, mais antigos, porque eles foram pioneiros no estudo do rio Mondego. Começámos por ter contacto com a magnífica obra “Geografia de Portugal” do professor Amorim Girão: Depois com o espantoso “O esforço do homem na bacia do Mondego” do professor Alfredo Fernandes Martins e os inúmeros textos do professor Fernando Rebelo, tendo tido o privilégio de conhecer e conversar com estes dois últimos, e com outros ainda, já da nossa geração, como o professor Luciano Lourenço. É de referir também aqui o livro do professor Jorge Alarcão “As pontes de Coimbra que se afogaram no Rio”.

No que se refere a Mestres Engenheiros são de referir os Professores António Carvalho Quintela e Armando Lencastre, este o principal autor das obras do Aproveitamento Hidráulico do Mondego.

Para uma visão mais geral, mais nos aspetos técnicos, mas também históricos é de referir a obra do engenheiro Rui Sanches “O Problema secular do Mondego e a sua resolução”, uma obra editada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em 1996.

Na abordagem moderna de combate/mitigação de inundações e cheias são consideradas duas abordagens as quais se podem classificar de medidas estruturais e não-estruturais.

As medidas não estruturais são acções preventivas, desenvolvidas através de regras, legislação, e que visam impedir/mitigar os impactos, eventualmente ainda inexistentes, de uma incorreta ocupação e exploração do solo ao longo da bacia.

Por outro lado, as medidas estruturais, em geral impostas pela inexistência, insuficiência ou ineficácia de medidas não-estruturais, são aquelas que visam

resolver os impactos já existentes no sistema através de obras de construção civil de maior ou menor envergadura.

Nesta obra do engenheiro Rui Sanches pode ler-se, logo no seu primeiro capítulo, um conjunto de medidas não-estruturas, as quais foram traduzidas por providências régias, datadas de 22 de setembro 1464, da autoria do rei D. Afonso V e que “[...] proibía as queimadas na distância de uma légua, a partir das duas margens do rio, e de Coimbra até Seia, na tentativa de impedir o assoreamento do rio causado pelo arroteamento e cultivo das vertentes superiores, pois o seu álveo já se encontrava muito entulhado de areia e até as pequenas cheias provocavam grandes danos nos campos da Coimbra e de Montemor, bem como nos mosteiros que se encontravam próximos da cidade”. Idênticas disposições são referidas no ano de 1491, promulgadas por D. João II, e ainda mais tarde por imposição de D. Manuel I e que obrigavam à limpeza de valas e sargetas e que vigoraram até 1834.

São também referenciadas disposições de D. João III, do cardeal D. Henrique que determinava o estudo do encanamento do rio.

Estava-se, então, a adoptar uma outra abordagem para a problemática das cheias, isto é, iniciava-se uma solução baseada em soluções estruturais.

Estas medidas prolongaram-se até 1790, altura em que o padre Estevão Cabral apresentou o seu plano, que viria a ser concretizado e que consistia na alteração do leito do rio, alterando o seu traçado e construindo um outro canal (como se pode observar na fig. 3).

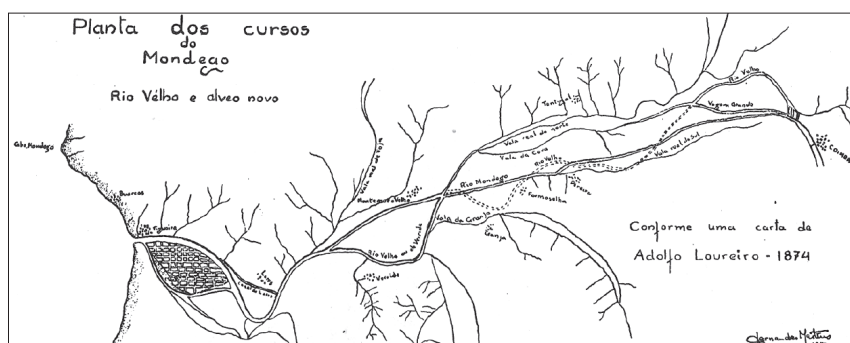


Fig. 3 - Rio velho e Álveo artificial do Mondego, aberto a partir de 1791
(Fonte: Fernandes Martins, 1940, citado em: L. Lourenço, 1986).

Fig. 3 - Old River Mondego in the eighteenth century and the artificial channel after 1791
(Source: Fernandes Martins, 1940, cited in: L. Lourenço, 1986).

Estas obras tiveram numerosos opositores assim como defensores, alguns deles de grande relevo, tais como os Doutores Domingos Vandelli, José Bonifácio de Andrada e Silva, o Doutor Guilherme de Henriques Carvalho entre outros.

Para um estudo mais aprofundado desta temática é muito interessante a obra do Engenheiro Rui Sanches.

O aproveitamento hidráulico do Mondego

A solução de Estevão Cabral não eliminou as inundações e cheias do Baixo Mondego e ao longo do tempo foram ocorrendo diversas com os consequentes prejuízos e vítimas e ainda com o continuo assoreamentos dos leitos.

Após inúmeros estudos, do que se pode já designar como de uma engenharia hidráulica técnica, destacam-se entre vários outros os dos Engenheiros Adolfo Loureiro e Henrique Ruas. Este último apresentou um Plano de Defesa dos Campos do Mondego contra Inundações e Assoreamento em 1939.

Ao longo dos anos foram ainda apresentados diversos estudos intercalares, mais ou menos ambiciosos, que são apresentados de uma forma muito desenvolvida e clara no livro do engenheiro Rui Sanches.

É, no entanto, em reunião do Conselho Superior das Obras Públicas de janeiro de 1958, que se decide avançar com o Plano Geral do Aproveitamento Hidráulico da Bacia do Mondego de 1962, o qual é orientado para a “*defesa, rega e enxugo dos campos do Baixo Mondego*”.

Posteriormente, foram desenvolvidos detalhados estudos da maior relevância técnica e que recorreram aos melhores conhecimentos da engenharia hidráulica disponíveis na época e para diferentes objetivos, isto é, para além de defesa e enxugo dos campos do Baixo Mondego começou a considerar-se não só estes aspetos mas também o problema da regularização dos caudais o que implicaria a construção de barragens e correspondentes albufeiras as quais por sua vez, possibilitariam a produção de hidroeletricidade no que seria uma nova abordagem baseada numa visão holística da bacia hidrográfica.

Iniciou-se então o Plano Geral do Aproveitamento Hidráulico da Bacia do Mondego que é um aproveitamento de fins múltiplos.

Os objectivos do plano de 1962 são, por ordem decrescente de prioridades, os seguintes:

- 1º Regularização dos caudais do Mondego e dos afluentes Dão e Alva;
- 2º Regularização dos leitos do Baixo Mondego e construção de diques de modo a evitar o alagamento dos terrenos marginais ao rio;
- 3º Regadio dos terrenos marginais ao rio através da construção de dois canais marginais ao rio, um para norte e outro para sul, com origem numa tomada de água imediatamente a jusante de Coimbra;
- 4º Construção de uma rede de enxugo e de um conjunto de estações elevatórias;
- 5º Rega da zona entre o rio Mondego e o rio Vouga, com águas provenientes da barragem/albufeira da Aguieira e complementadas com águas do Alva, bombeadas a jusante da foz do Alva;
- 6º Produção de energia eléctrica através de centrais implantadas nas barragens a construir;
- 8º Redução dos caudais sólidos transportados e abastecimento de água para áreas urbanas.

Este plano viria a sofrer algumas alterações em 1968, mantendo-se, contudo, o essencial dos seus objectivos, apenas com uma alteração mais significativa do 5º objectivo.

Deste modo, o aproveitamento Hidráulico do Mondego foi concretizado com as seguintes obras principais:

- Barragem da Aguieira (Rio Mondego)
- Barragem da Raiva (Rio Mondego)
- Barragem das Fronhas (Rio Alva)
- Túnel de Derivação Fronhas/Aguieira
- Açude de Coimbra (Rio Mondego)
- Regularização do Baixo Mondego

As obras que constituem o aproveitamento Hidráulico do Mondego executadas até ao Açude-Ponte Coimbra (figs. 4 e 5), em planta e em perfil respetivamente, as obras não foram executadas na sua totalidade, condicionando a concretização do 2º e 5º objetivo.

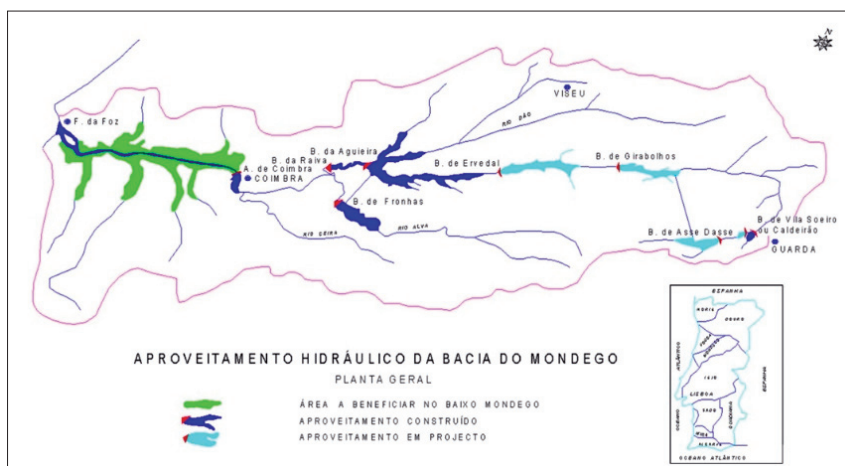


Fig. 4 - Hydraulic Plan of Mondego Watershed (Source: J. Proença, 2021).

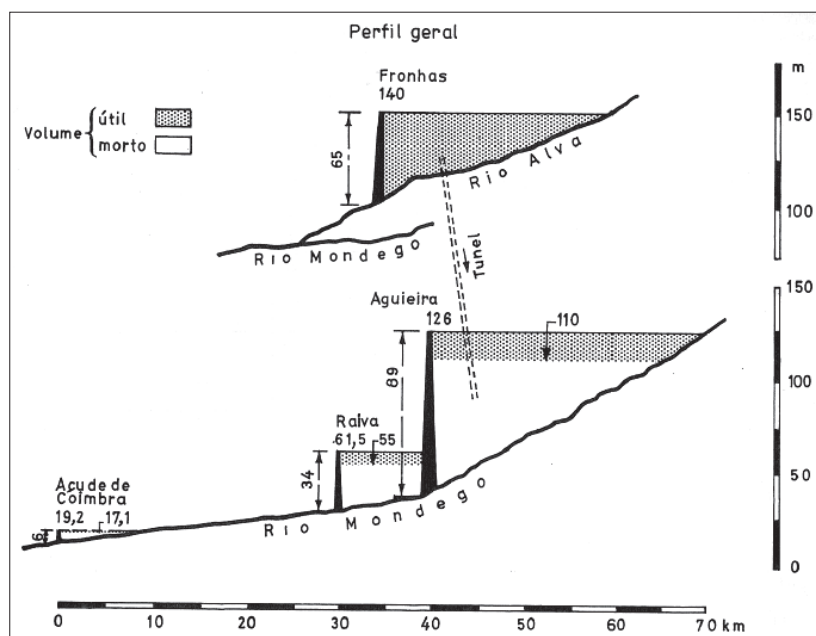


Fig. 5 - Perfil do aproveitamento Hidráulico da Bacia do Mondego
(Fonte: EDP 1984, citado em: L. Lourenço, 1986).

Diferentes contributos do LHRA da UC

As intervenções aqui referidas do LHRA do DEC da FCTUC foram focadas no estudo das cheias fluviais de 2000-01 e 2016, na operação das comportas das obras localizadas a montante do Açude-Ponte de Coimbra e na modelação hidrológico-hidráulica do rio entre a barragem da Aguieira-Raiva e o Açude-Ponte de Coimbra. Incluíram ainda a modelação hidrológico-hidráulica das linhas de água de menor dimensão que ocasionavam inundações urbanas, o que permitiu que a autarquia elaborasse um conjunto de medidas de atuação não-estruturais, que foram materializadas em regulamentação municipal.

Cheia de 2000-01¹

Como referido na introdução e na sequência das cheias dos dias 26 a 29 de janeiro de 2001, em que ocorreram caudais muito elevados e que provocaram inundações com graves consequências em Coimbra e a jusante da cidade, o Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra foi contratado pela sociedade Coimbra Polis para proceder à elaboração de um estudo sobre o comportamento hidráulico e hidrológico do Rio Mondego, na zona de intervenção deste Programa, tendo como objetivo a definição e análise das possíveis áreas inundadas na zona entre a Ponte de Santa Clara e a Ponte Rainha Santa.

Para proceder a este estudo, realizado pelos docentes do DEC: Fernando Seabra Santos, José Alfeu Sá Marques e Paulo Amado Mendes, foi solicitado e obtido um novo levantamento batimétrico do Rio na zona em causa.

Este trabalho, intitulado “Estudo Hidráulico e Hidrológico do rio Mondego na Zona de Intervenção do Programa POLIS em Coimbra. Relatório final”, foi concluído e entregue em abril de 2002, tendo analisado de forma detalhada o evento

¹ Detalhada em: Seabra Santos, F. J., Sá Marques J. A., Amado Mendes P. (2002). *Estudo Hidráulico e Hidrológico do Rio Mondego na Zona de Intervenção do Programa Polis em Coimbra. Relatório Final*, Coimbra.

das cheias do rio Mondego ocorridas em dezembro de 2000 e janeiro de 2001. De igual modo, foram analisadas de forma detalhada as condições de escoamento desde a barragem da Raiva até ao Açude-Ponte de Coimbra, com particular ênfase na zona em análise (ponte da Portela Açude-Ponte).

Foram também simuladas numericamente as importantes cheias de janeiro de 1948 e de março de 1969 por se disporem de registos dos respetivos hidrogramas e de imagens que permitiram adotar coeficientes de Manning-Strickler com uma confiança elevada.

Foram igualmente ensaiadas diversas estratégias de operação das barragens da Agueira e das Fronhas, em cumprimento das regras de exploração existentes à data (fig. 6).

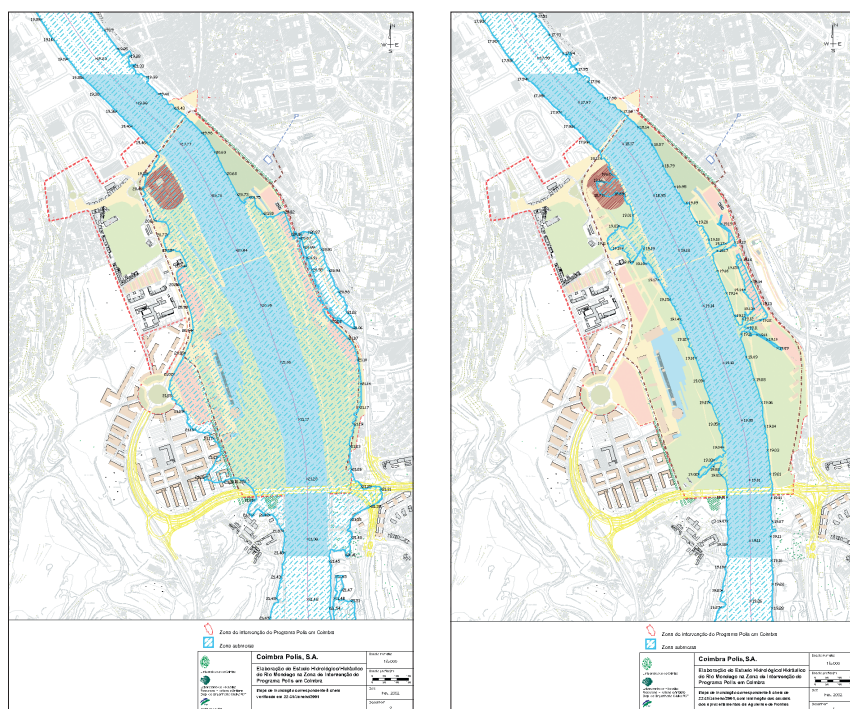


Fig. 6 - Mapa de inundação da cheia de 22-31 de janeiro de 2001 (verificada (esquerda) e com a laminação proposta (direita)) (Fonte: S. Santos *et al.*, 2002).

*Fig. 6 - Flood inundation map of 22-31 January 2001 (verified (left) and with a proposed discharges (right)) (Source: S. Santos *et al.*, 2002).*

As conclusões mais relevantes do estudo anterior, que se transcrevem, evidenciaram que:

- a) O comportamento hidráulico do sistema na zona em estudo é fortemente condicionado pelo modo de exploração das obras existentes, nomeadamente das Barragens da Aguieira e de Fronhas e do Açude-Ponte de Coimbra. Estas obras, que constituem o chamado Aproveitamento Hidráulico do Mondego, concebido e executado para garantir a regularização fluvial e a protecção contra cheias, asseguram um volume de armazenamento suficiente para encaixar cheias com elevados períodos de retorno;*
- b) Outros factores condicionam igualmente o comportamento hidráulico do rio na zona em estudo. Foi possível mostrar a influência de uma deficiente manutenção da secção correspondente à Ponte de Santa Clara, que pode por si só provocar um aumento de nível de cerca de 0,3 m na zona do Choupalinho, bem como da cota do fundo do rio no troço compreendido entre a Portela e o Açude-Ponte. A dragagem controlada do leito, mantendo-o em níveis adequados, pode igualmente contribuir para baixar de forma significativa os níveis da superfície livre naquele troço.*
- c) As barragens possuem uma capacidade de encaixe que assegura a protecção do Choupalinho contra cheias com períodos de retorno elevados. Assim sendo, se a gestão for efectuada de acordo com os objectivos do Aproveitamento, existe uma firme convicção, fundamentada nos estudos estatísticos dos caudais e nas simulações numéricas do escoamento efectuadas, de que a cota actual do Choupalinho não será ultrapassada, mesmo para cheias de elevado período de retorno.*
- d) As respostas e resultados que é possível fornecer no âmbito do presente estudo encontram-se, portanto, fortemente condicionadas pela definição da política de gestão das barragens, não nos parecendo definitivamente assegurado, atendendo aos episódios de Janeiro de 2001, que a protecção contra cheias se mantenha, como era sem dúvida nos documentos de enquadramento, nos estudos e no projecto do empreendimento, o principal objectivo daquela gestão. Afigura-se assim prudente garantir capacidades de encaixe de cerca de 150 hm³ na albufeira da Aguieira e de 25 hm³ na de Fronhas, de modo a assegurar que os caudais máximos instantâneos em Coimbra não ultrapassem os 1200 m³/s e a respectiva cota, no Choupalinho, os 19 m.*

Estudos de Hidrologia Urbana²

Após a construção das barragens da Aguieira, Raiva, Fronhas e Açude-Ponte de Coimbra as habituais cheias e inundações que se verificavam nas zonas ribeirinhas da cidade diminuíram de frequência e, em consequência, verificou-se uma muito acentuada pressão urbanística nessas zonas, pelo que a Câmara Municipal de Coimbra decidiu, aproveitando a revisão do Plano Director Municipal em 2004, mandar efetuar um estudo de Hidrologia Urbana cujo objetivo final seria o de identificar zonas com riscos de inundação, avaliar esses riscos do ponto de vista de probabilidade de ocorrência e de apontar para regras a implementar quer no PDM, quer em futuros planos de urbanização, para o que, o contratualizou com o Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

No decurso deste estudo foram desenvolvidos modelos hidrológico-hidráulicos das diversas bacias, num total de 23 bacias, para diferentes cenários de comportamento hidráulico, de estado de manutenção e limpeza das linhas de água, de grau de impermeabilização e períodos de recorrência, tendo-se identificado alguns dos pontos de maior risco de inundação.

Também, na sequência deste estudo, foi elaborado um conjunto de recomendações que se vieram a concretizar na elaboração de planos diretores de drenagem das diferentes bacias drenantes da cidade de Coimbra e na adopção de um conjunto de regras a implementar ao nível do PDM de entre as quais se destaca o conceito de aplicação do critério de “impacto zero” no sistema de drenagem de todas as intervenções urbanísticas a executar no concelho. Tal traduz-se na regra prática de que, qualquer intervenção urbanística com área superior a 600 m², deverá ser dotada de um dispositivo de redução/amortecimento de caudal pluvial.

² Detalhada em: Sá Marques J. A., Carvalho, R. F., Simões N. C., Pina R., Reis P. (2006). *Estudos de Hidrologia Urbana. Relatório Final*, Coimbra.

Cheia de 9 e 11 de janeiro de 2016³

Entre 9 e 11 de janeiro de 2016 ocorreram inundações nas margens do Mondego, em especial na cidade de Coimbra e um dos pontos mais afetados foi o convento de Santa Clara a Velha. Na sequência deste acontecimento o Ministro do Ambiente convidou a Ordem dos Engenheiros para estudar as condições de escoamento do rio Mondego que deram origem a estas inundações e avaliar os respetivos procedimentos de alerta de cheias. Foi assim criado um grupo de trabalho constituído por duas equipas, uma da Universidade de Coimbra e outra da Universidade do Minho

O trabalho desenvolvido pela UC teve como objectivos construir um modelo e caracterizar as condições de escoamento que deram origem às inundações em Coimbra entre 9 e 11 de janeiro de 2016; analisar o protocolo de gestão do sistema Aguieira-Raiva e Fronhas e a forma como foi operado e avaliar os efeitos das diversas intervenções realizadas na envolvente fluvial da cidade de Coimbra.

O trabalho iniciou-se com um levantamento exaustivo da informação disponível, nomeadamente, informação cartográfica e batimétrica, relatórios, registos de caudais e níveis de água. A informação batimétrica disponível era de 2001 e 2008 e não existiam medições de transporte de sedimentos.

Com a informação recolhida foi possível desenvolver modelos hidrodinâmicos, calibrados, que permitiram fazer a simulação de comportamento do rio em diferentes condições de operação da Aguieira.

Neste evento, o valor máximo que afluiu à albufeira da Aguieira foi de 1777 m³/s, correspondendo a um período de retorno inferior a 25 anos e menor do que o da cheia de 2001.

As análises efetuadas permitiram concluir que se as regras de operação da barragem da Aguieira tivessem sido aplicadas, teria sido possível limitar a descarga da Aguieira a 450 m³/s, bastante inferior ao valor de 1100 m³/s que se verificou (fig. 7).

³ Detalhada em: Vieira, J., Seabra Santos, F., J Pinho, J.L., Sá Marques, A., Simões, N., Maluf, L., Matias, E., Vieira, L. V. (2016). *Caracterização das Condições de Escoamento do Rio Mondego que deram Origem às Inundações em Coimbra em janeiro de 2016*. Ordem dos Engenheiros.

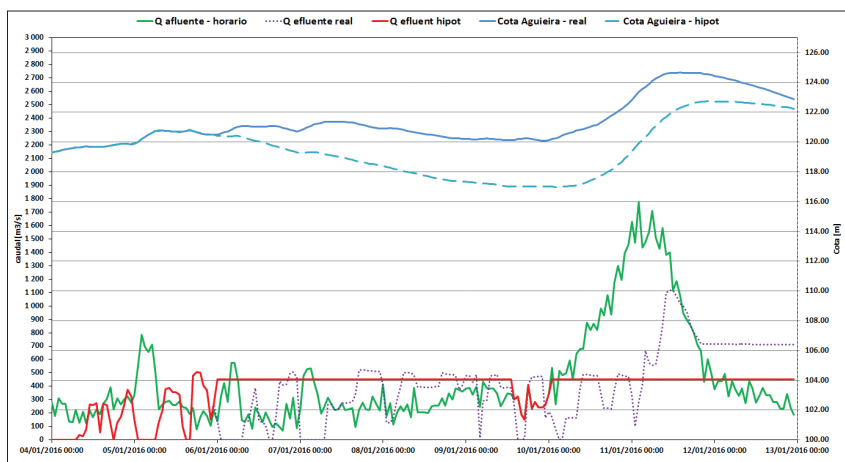


Fig. 7 - Hidrogramas e cotas de água reais e com uma hipotética gestão cumprindo as regras de operação estabelecidas da Barragem da Aguieira, com início no dia 06/01/2016 (Fonte: J. Vieira *et al.*, 2016).

Fig. 7 - Flows and water levels, observed and with hypothetical discharges management using the established operating rules of the Aguieira Dam, starting on 06/01/2016 (Source: J. Vieira, et al., 2016).

Por outro lado, as batimetrias existentes (2001 e 2008) mostram variações significativas e com impacto no escoamento na zona ribeirinha cidade de Coimbra. A inexistência de batimetria mais recente, aumenta a incerteza associada ao estudo e mostra que a monitorização de sedimentos é de extrema importância, tal como recomendado no projeto e já realçado de forma explícita no estudo de 2002.

Também foi testado o efeito dos pilares da ponte pedonal Pedro e Inês. A existência de obstáculos, pontes e pilares inseridos no leito do rio provoca alteração na dinâmica do escoamento, podendo aumentar o nível de água a montante. Além disso constatou-se que são um obstáculo que provoca acumulação de material flutuante resultante da própria cheia (troncos e vegetação de grande dimensão).

A cheia atingiu as cotas de soleira das passagens inferiores para a zona do Mosteiro de Santa Clara (fig. 8). A não atuação das portas de emergência, permitiu a passagem de água e a consequente inundação do Mosteiro.

Nas figuras que se seguem apresentam-se imagens das áreas inundadas para diferentes valores dos caudais afluentes a Coimbra, resultantes da simulação numérica efetuada com o modelo desenvolvido, demonstrando-se de forma clara o impacto desses valores nas áreas inundadas.

A zona ribeirinha de Coimbra começa a sofrer inundações quando o caudal do Rio Mondego atinge valores de 700 a 750 m³/s (fig. 9), aumentando a inundação com o aumento do caudal. Para caudais da ordem de 1000 m³/s o Parque Verde e o Choupalinho já têm planícies de inundação com uma extensão significativa (fig. 10), e para caudais superiores a 1400 m³/s, grande parte das margens entre a ponte Rainha Santa e ponte de Santa Clara encontram-se inundadas (fig. 11).



Fig. 8 - Mapa de inundação da cheia de janeiro de 2016 na zona de Coimbra (Fonte: J. Vieira *et al.*, 2016).

*Fig. 8 - Flooding map of January 2016 in Coimbra area.
(Source: J. Vieira, et al., 2016).*



Fig. 9 - Inundação verificada para um caudal compreendido entre 700 e 750 m³/s. (Fonte: J. Vieira *et al.*, 2016).

*Fig. 9 - Flooding map for a flow between 700 and 750 m³/s
(Source: J. Vieira, et al., 2016).*



Fig. 10 - Inundação verificada para um caudal compreendido entre 950 e 1150 m³/s (Fonte: J. Vieira *et al.*, 2016).

Fig. 10 - Flooding map for a flow between 950 and 1150 m³/s (Source: J. Vieira, et al., 2016).



Fig. 11 - Inundação verificada para um caudal superior a 1400 m³/s (Fonte: J. Vieira *et al.*, 2016).

Fig. 11 - Flooding map for a flow higher than 1400 m³/s (Source: J. Vieira, et al., 2016).

Conclusões

O escoamento do Rio Mondego sempre teve grande variabilidade ao longo do ano, com caudais muito baixos ou inexistentes no verão e caudais muito elevados no inverno que originaram muitos fenómenos de cheias. Este problema secular do Mondego resulta essencialmente das características orográficas, do ordenamento florestal e do regime hidrológico.

As primeiras tentativas de resolução do problema iniciaram-se no sex XV com soluções não estruturais, que, no entanto, não resolveram os problemas. A partir do século XVII, iniciaram-se os planos para implementação de soluções estruturais, sendo a solução do Padre Estevão Cabral aquela que foi executada. No século XX foi elaborado um grande plano que culminou no aproveitamento hidráulico do Mondego, constituído por um conjunto de barragens e canais.

Após a entrada em funcionamento das Barragens em 1981, o problema foi enormemente mitigado, até que em 2000/2001 se verificou um novo evento de

cheias. Em 2016 e 2019 ocorreram novamente cheias que provocaram danos materiais. Apesar do número e da amplitude dos eventos ter diminuído, existindo mesmo um sequência de anos sem cheias, a ocorrência das cheias de 2000/2001 e de 2016 levantou dúvidas e insegurança à população sobre os benefícios das obras feitas.

Na sequência das cheias de 2000/2001 e 2016 o Laboratório de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente foi interveniente num conjunto de estudos que tinham como objetivo explicar as razões da ocorrência das mesmas, avaliar o comportamento dos intervenientes na operação de gestão das barragens e retirar ensinamentos para a gestão e atuação futuras.

Como ficou mostrado nos relatórios já referidos, a gestão das descargas da barragem da Aguieira tem um papel fundamental na laminação dos caudais afluentes a Coimbra. Em ambas as cheias (2000/2001 e 2016), não restam dúvidas de que ela não foi feita de acordo com os protocolos em vigor. Mais se concluiu que se a operação das descargas tivesse seguido o protocolo estabelecido, os caudais máximos e os níveis de água poderiam ter sido muito reduzidos e as inundações, pelo menos, drasticamente mitigadas. Os impactos foram ainda agravados pela deficiente manutenção das infraestruturas e da limpeza das margens, bem como pelo assoreamento do leito junto à cidade de Coimbra. Outra conclusão a que chegamos é a da necessidade de integração dos mais atuais conhecimentos no domínio da previsão meteorológica, hidrológica e hidráulica e das tecnologias de comunicação, para que a decisão do operador possa ser mais bem informada.

Relativamente às cheias como a muitos outros fenómenos naturais, o domínio da Natureza nunca é total e por isso todas as obras estão associadas a um certo grau de risco, que se tenta minimizar tendo em conta a relação custo/benefício.

O que não é aceitável é que as grandes obras de engenharia, que resultam de um enorme esforço social traduzido em pesados investimentos que encontram justificação no acréscimo de proteção, bem estar e qualidade de vida que nos podem proporcionar, não sejam aproveitadas ao máximo por descuido, incúria ou subversão das suas finalidades.

O caso do aproveitamento hidráulico do Mondego é paradigmático nesta matéria. Concebido, projetado e construído para responder, como vimos atrás, em primeiro lugar à necessidade de regularizar os caudais do rio e em sexto lugar

à necessidade de produzir energia elétrica, a atribuição da responsabilidade da gestão das barragens a uma empresa de produção de eletricidade não terá sido, seguramente, a decisão acertada de quem pretendesse manter a hierarquia dos critérios de exploração. Os resultados estão à vista. O tempo de recorrência das grandes cheias está significativamente diminuído, a zona ribeirinha de Coimbra e o Baixo-Mondego estão a ser inundados com uma elevada frequência, circunstância que pode ser evitada.

Não se pretende omitir o efeito acumulado de outros fatores que igualmente têm agravado o problema, tais como: a modificação do uso dos solos, o ordenamento florestal desregrado, a ocorrência de incêndios e o conjunto de fenómenos agrupados sob a designação genérica de Alterações Climáticas que tendem a acentuar a frequência e a amplitude dos fenómenos excecionais. A atitude cautelosa, quanto a nós imprescindível, poderia ser a de reforçar o sistema através da construção da Barragem de Girabolhos que, com uma capacidade útil de 245 hm^3 a que corresponde uma bacia contribuinte da ordem dos 988 km^2 e uma afluência em ano médio da ordem dos 402 hm^3 asseguraria um aumento da capacidade útil do sistema de 67% e, acessoriamente, permitiria resolver o problema de abastecimento de água à cidade de Viseu.

Mas, até porque aqueles fatores existem e não é fácil contrariá-los, até porque só fará sentido reclamar novos investimentos se nos mostrarmos capazes de gerir os existentes, urge garantir que, de futuro, possamos retirar destas grandes obras todo o proveito social que elas estão em condições de nos proporcionar.

Bibliografia

- Acta de Reunião do Comité Permanente da Comissão de Gestão de Albufeiras, que decorreu no INAG, no dia 1 de fevereiro de 2001.
- Amado Mendes, P. (2001). *Contribuição para o Estudo da Modelação das Ondas de Cheia Provocadas pela Ruptura de Barragens: Aspectos Hidrodinâmicos e Morfodinâmicos*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, área de especialização em Hidráulica e Recursos Hídricos). Apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Amado Mendes, P., Seabra Santos, F. J. e Antunes do Carmo, J. S. (2001). Escoamentos unidimensionais com superfície livre: análise comparativa de métodos numéricos com ênfase no tratamento dos termos fonte, Recursos Hídricos. *Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*, vol. 22, n.º 1, Maio, 5-24.
- Amorim Girão, A. (1960). *Geografia de Portugal: acrescida dos estudos adjacentes*, 3ª edição, Portucalense Editora, 1960.
- Aproveitamento Hidráulico da Bacia do Mondego, Ministério das Obras Públicas. Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos. Direcção dos Serviços de Aproveitamentos Hidráulicos, 1966.
- HIDROPROJECTO (1999). *Estudo relativo ao sistema de organização, tarifário e de gestão do Aproveitamento Hidráulico do Mondego. Relatório final 1ª fase*, vols. 1 e 2, Lisboa.
- Lourenço, L. (1986). Aproveitamento Hidráulico do Vale do Mondego, In Rebelo, F., Lourenço, L. e Matos, M., *Problemas do Vale do Mondego - Livro-Guia da excursão de 24 de setembro de 1986*. IV Colóquio Ibérico de Geografia, Coimbra.
- Disponível em https://www.uc.pt/fluc/nicif/Publicacoes/Estudos_de_Colaboradores/livros/Guias
- Proença, J. (2021). O Aproveitamento Hidráulico do Mondego e a Redução do Risco de Inundação do Baixo Mondego. *Atas do XIV Encontro Nacional de Riscos*, Coimbra.
- Disponível em <https://xivenr.riscos.pt/apresentacoes/>
- Sá Marques J. A., Carvalho, R. F., Simões N. C., Pina R., Reis P. (2006). *Estudos de Hidrologia Urbana*. Relatório Final, Coimbra.
- Marques, J. C., Graça, M. A. e Pardal, M. A. (2002). "Introducing the Mondego River Basin", in Pardal, M. A., Marques, J. C. e Graça, M. A. (eds.), *Aquatic Ecology of the Mondego River Basin. Global Importance of Local Experience*, Imprensa da Universidade, Coimbra.
- Seabra Santos, F. J., Sá Marques J. A., Amado Mendes P. (2002). *Estudo Hidráulico e Hidrológico do Rio Mondego na Zona de Intervenção do Programa Polis em Coimbra*. Relatório Final, Coimbra.
- Sanches, R. (1996). *O problema secular do Mondego e a sua resolução*, LNEC, Lisboa.
- Vieira, J., Seabra Santos, F., J Pinho, J. L., Sá Marques, A., Simões, N., Maluf, L., Matias, E., Vieira, L. V. (2016). *Caracterização das Condições de Escoamento do Rio Mondego que deram Origem às Inundações em Coimbra em janeiro de 2016*. Ordem dos Engenheiros.

**IMPACTOS DAS GRANDES CHEIAS DO RIO
MONDEGO NA REGIÃO DE COIMBRA
- UMA RESENHA HISTÓRICA**
**IMPACT OF MAJOR FLOODS ON THE RIVER
MONDEGO IN THE COIMBRA REGION
– A HISTORICAL OVERVIEW**

João Pardal^{1 2}

ORCID: 0000-0001-8853-5568
jpardal.ambiente@gmail.com

Alexandre Oliveira Tavares³

ORCID: 0000-0003-1621-6183
atavares@ci.uc.pt

Lúcio Cunha^{1 2}

ORCID: 0000-0003-0086-7862
luciogeo@fl.uc.pt

Pedro Pinto Santos^{4 5}

ORCID: 0000-0001-9785-0180
pmpsantos@campus.ul.pt

Luís Leitão¹

ORCID: 0000-0002-3051-6011
luisrleitao@gmail.com

¹Universidade de Coimbra, ²CEGOT

Faculdade de Letras, Departamento de Geografia e Turismo (Portugal)

³Universidade de Coimbra, CES

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências da Terra (Portugal)

⁴Universidade de Lisboa, CEG

IGOT - Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (Portugal)

⁵Laboratório Associado Terra (Portugal)

Resumo: A partir de bases documentais históricas e registos hidrométricos foram estudadas 296 cheias, para o intervalo de tempo entre 1200 a 2021. Destas cheias, 32 foram classificadas de catastróficas e 60 de extraordinárias, que ocorreram, particularmente, no Inverno (dezembro a fevereiro). Estas cheias causaram impactos negativos muito significativos nos sistemas sociais, económicos e ambientais, nomeadamente com perda de vidas humanas, isolamento das populações, situações de insalubridade e doença, perdas agrícolas e na pecuária, destruição de infraestruturas hidráulicas e vias de comunicação, habitações, igrejas,

conventos e comércio. Os registos históricos reportam inclusivamente vários períodos de fome em Coimbra e nas localidades ribeirinhas. Embora a maioria das cheias com impactos excecionalmente elevados tenham ocorrido em regime fluvial pristino, em virtude do maior intervalo de tempo coberto, os registos históricos e hidrométricos mostram que continuam a verificarem-se cheias excecionais e muito danosas no período pós projeto de aproveitamento hidroelétrico e hidroagrícola, como o testemunham as cheias de 2001 e 2019. Assumindo que eventos desta natureza poderão ocorrer no futuro, verifica-se a necessidade de adaptar o atual sistema de gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Mondego a esta realidade, de forma a mitigar os eventuais danos e prejuízos.

Palavras-chave: Rio Mondego, cheias, impactos.

Abstract: Historical documentary sources and hydrometric records were used to study 296 floods that occurred in the period from 1200 to 2021. Of these floods, 32 were classified as catastrophic and 60 as extraordinary, occurring particularly in winter (December to February). These floods had very significant negative impacts on social, economic and environmental systems, including loss of human life. They cut off populations and caused illness, agricultural and livestock losses, and destroyed hydraulic infrastructure and communication routes, houses, churches, convents, and commercial establishments. Historical records even report various periods of famine in Coimbra and in the riverside localities. Although most of the floods with exceptionally high impacts occurred in the pristine fluvial regime, due to the greater interval of time covered, the historical and hydrometric records show that exceptional and very damaging floods continue to occur in the post-project period of hydroelectric and hydro-agricultural exploitation, as borne out by the floods of 2001 and 2019. Assuming that events of this nature can occur in the future, there is a need to adapt the current management system of the Mondego River Hydrographic Basin to this reality to mitigate possible damage and losses.

Keywords: River Mondego, floods, impacts

Introdução

Diversos cientistas e organizações internacionais têm reconhecido que os desastres induzidos por processos naturais estão a aumentar em frequência, intensidade e magnitude, nomeadamente os de origem hidroclimática, com o aumento da probabilidade da ocorrência de eventos extremos, como as cheias e as secas, particularmente nas regiões temperadas. As cheias podem comprometer o desenvolvimento social e económico das comunidades, pois têm a capacidade potencial de causar impactos negativos a nível social, económico e ambiental, à escala local, regional, nacional e global. Estes eventos, causam a perda de vidas e feridos, a deslocação de populações, danos no ambiente, nas infraestruturas, nas habitações, no património cultural e elevados prejuízos no tecido económico.

Com efeito, as inundações são o risco natural responsável pelas maiores perdas económicas a nível mundial e na União Europeia os custos económicos dos perigos de origem hidrológica ascenderam a cerca de 166 mil milhões de euros entre 1980 e 2017, o que equivale a cerca de um terço das perdas decorrentes de processos climáticos que desencadeiam alterações nos padrões de precipitação e nas condições meteorológicas (European Environmental Agency, 2003; Hall *et al.*, 2014; UNISDR, 2015; Wallemacq *et al.*, 2018; TCE, 2018).

As cheias e consequentes inundações¹ são consideradas um dos desastres mais comuns da Europa, causando grandes perdas e vítimas. As cheias tornaram-se mais frequentes na Europa desde 1985, com o aumento das de maior severidade. Nos últimos anos, as cheias repentinas, com dimensão média a elevada, representam mais do dobro das registadas no final da década de 1980 (TCE, 2018). As cheias na Europa podem tornar-se de futuro, ainda, mais frequentes e severas. Esta situação tenderá a ser mais gravosa num cenário de alterações climáticas, com períodos de maior expressão da precipitação intensa num intervalo curto de tempo (tal como

¹ Hipólito, J e Vaz, A. (2013, p. 483) definem cheia como o “[...] fenómeno hidrológico extremo, causado por precipitação intensa de duração mais ou menos prolongada na Bacia Hidrográfica ou em parte dela, originando caudais que excedem a capacidade de vazão do leito menor”. No presente trabalho considera-se inundação como a consequência da cheia, com a submersão dos terrenos adjacentes à linha de água, cuja dimensão espacial depende da magnitude dos caudais, da geomorfologia e da natureza da ocupação antrópica do território.

expresso frequentemente pelas curvas de Intensidade-Duração-Frequência), em linha com as atuais manifestações destes processos na Europa Mediterrânica e Central. Sem considerar as secas, as inundações são o risco meteorológico mais perigoso para os países mediterrânicos, seguido pela ocorrência de tempestades de vento e granizo. Isso deve-se não apenas à sua elevada frequência, mas também à vulnerabilidade criada por várias atividades humanas (Barredo, 2007, 2009; Glaser *et al.* 2010; Llasat *et al.* 2010, Hall *et al.* 2014).

Entre 1998 e 2009, a Europa sofreu mais de 213 grandes inundações, incluindo as inundações catastróficas ao longo dos rios Danúbio e Elba no verão de 2002, que causaram grandes prejuízos. Entre 1998 e 2009, as inundações na Europa causaram 1126 mortes, a deslocação de cerca de meio milhão de pessoas e pelo menos 52 mil milhões de euros em perdas económicas seguradas. Em maio e junho de 2013, acontecimentos semelhantes mataram pelo menos 26 pessoas e causaram prejuízos superiores a 13 mil milhões de euros em sete Estados-Membros.

Mais recentemente, em menos de duas semanas, em maio e junho de 2016, as inundações mataram pelo menos 18 pessoas e causaram prejuízos superiores a 3,7 mil milhões de euros em nove Estados-Membros (TCE, 2018). Em outubro de 2020, as cheias que ocorreram no sul de França e norte de Itália causaram 25 mortos. Em julho e agosto de 2021 aconteceram grandes cheias na Alemanha, Suíça, Áustria, Bélgica, Luxemburgo e Países Baixos. Estas cheias causaram milhões de euros de prejuízos, especialmente as cheias catastróficas que aconteceram na Alemanha e na Bélgica, onde perderam a vida, respetivamente, 205 e 43 pessoas (EM-DAT, 2022)².

Em Portugal as grandes cheias ocorrem, essencialmente, nas grandes bacias hidrográficas do Douro, Tejo, Mondego, Vouga e Guadiana e em menor expressão nas do Minho e Sado. Segundo a base de dados internacional EM-DAT (2022), entre 1967 e 2015 em Portugal foram identificados 14 eventos de cheias, dos quais resultaram 597 vítimas mortais e 53534 pessoas afetadas.

Em janeiro de 1962 ocorreram grandes cheias no Mondego e Douro e em fevereiro de 1969 no Tejo e Sado. Mas são as grandes cheias do rio Tejo, de 10 a 13

² Com base no cumprimento de um dos seguintes critérios: 10 ou mais vítimas mortais; existência de 100 ou mais pessoas afetadas; declaração do estado de emergência ou pedido de ajuda internacional.

de fevereiro de 1979, consideradas as maiores do século XX para este rio, aquelas que causaram maior grau de destruição, com destaque para: 2 mortos, dez mil pessoas evacuadas, povoações isoladas, diques destruídos, captações e estação de bombagem da água destinada a Lisboa afetada, com colapso no abastecimento de água a Lisboa, cortes no fornecimento de energia elétrica, estradas e caminho de ferro interrompidos (Loureiro, 2009; Hipólito e Vaz, 2013). Em termos de mortalidade foi, contudo, a cheia rápida que ocorreu na madrugada de 26 de novembro de 1967 na região de Lisboa, a que teve consequências mais catastróficas para as populações afetadas, com cerca de 700 vítimas mortais (Amaral, 1968; Rebelo, 2001 e 2010; Ramos e Reis, 2001).

Mais recentemente, outros eventos de cheia causaram elevados prejuízos, com pessoas evacuadas e mortos: dezembro de 1981 na região de Lisboa; novembro de 1983 nas regiões de Lisboa, Cascais e Loures, com 10 mortos; dezembro de 1989 nos rios Douro e Tejo; novembro de 1997 nas Bacias de Baixo Alentejo, com 11 mortos; inverno de 2000/2001, excecionalmente chuvoso, afetando principalmente os rios Douro, Tejo e Mondego, com cerca de 10 mortos e milhões de euros de prejuízos (Hipólito e Vaz 2013), para além da tragédia do colapso da Ponte Hintze Ribeiro, que fazia a ligação sobre o Rio Douro entre as localidades de Castelo de Paiva e Entre-os-Rios, que resultou na morte de 59 pessoas, em 4 de março de 2001 (CMCP, 2022). A cheia ocorrida no rio Mondego em dezembro de 2019 obrigou à evacuação de cerca de 3000 pessoas e causou a destruição em infraestruturas hidráulicas do Aproveitamento Hidráulico do Baixo Mondego, cuja recuperação custou cerca 11,1 milhões de euros.

As cheias do rio Mondego, em Coimbra e no Baixo Mondego, são um problema secular e fazem parte integrante da história hidrológica deste rio, marcada, por vezes, por eventos de grande magnitude e severidade. Como escreveu o Padre Estevão Cabral (1791, p. 205), em “*Memória sobre os danos do Mondego nos Campos de Coimbra*”:

“Depois que o Mondego lava a Cidade de Coimbra, não há quem não saiba, que ele entra de repente nos seus campos planos, e nos mesmos corre sete léguas até ao mar: mas a história destas sete léguas, se alguém com miudeza a escrever, não poderia ser senão dolorosíssima...”

Muitas foram, desde a Idade Média até à Idade Contemporânea, as decisões tomadas pelas estruturas administrativas do Estado com o objetivo de mitigar os efeitos destruidores das cheias, nomeadamente de: natureza legislativa e regulamentar; estudos e projetos; obras de regularização do rio Mondego e proteção aos campos e localidades; recuperação das infraestruturas e dos campos agrícolas; apoios às vítimas.

De facto, a ocorrência de cheias é um dos maiores riscos naturais do território de Coimbra devido ao seu elevado grau de suscetibilidade, pelo que é fundamental conhecer o passado histórico das cheias do Mondego, compreender o presente a partir da análise e interpretação dos eventos recentes e projetar o futuro através da implementação de um sistema de gestão da bacia, que permita uma resposta mais competente aquando da ocorrência de eventos extremos. Assim, como contributo para este objetivo, procede-se à identificação, caracterização e análise dos impactes das grandes cheias do Mondego nos últimos 700 anos.

Bacia hidrográfica do rio Mondego

Caraterização física

O rio Mondego nasce na Serra da Estrela a 1525 metros de altitude (Corgo da Mós), Concelho de Gouveia, percorrendo 258 km antes de desaguar no Oceano Atlântico, a Sul da cidade da Figueira da Foz. A Bacia Hidrográfica do rio Mondego (BHM), com uma área 6 645 km², está situada na região centro de Portugal, inserida entre as bacias dos rios Vouga e Douro, a Este e a Norte, e as bacias dos rios Tejo e Lis, a Sul (Martins, 1940, Cunha *et al.*, 1997 a, b; INAG, 2000; ARHC, 2012; APA, 2016).

Os principais afluentes do Mondego são, na margem direita, o rio Dão, a ribeira de Mortágua e rio Foja, e na margem esquerda os rios Alva, Ceira, Ega, Arunca e Pranto (fig. 1).

Do ponto de vista geomorfológico, a bacia hidrográfica do Mondego desenvolve-se ao longo de duas das principais unidades geológicas e morfo-estruturais do território continental de Portugal: o Maciço Hespérico até ao meridiano de

Coimbra; e, para jusante até ao Atlântico, em terrenos da Orla Mesocenozóica Ocidental (INAG, 2000; Feio e Daveau (org.), 2004; ARHC, 2012; Pereira *et al.*, 2014)

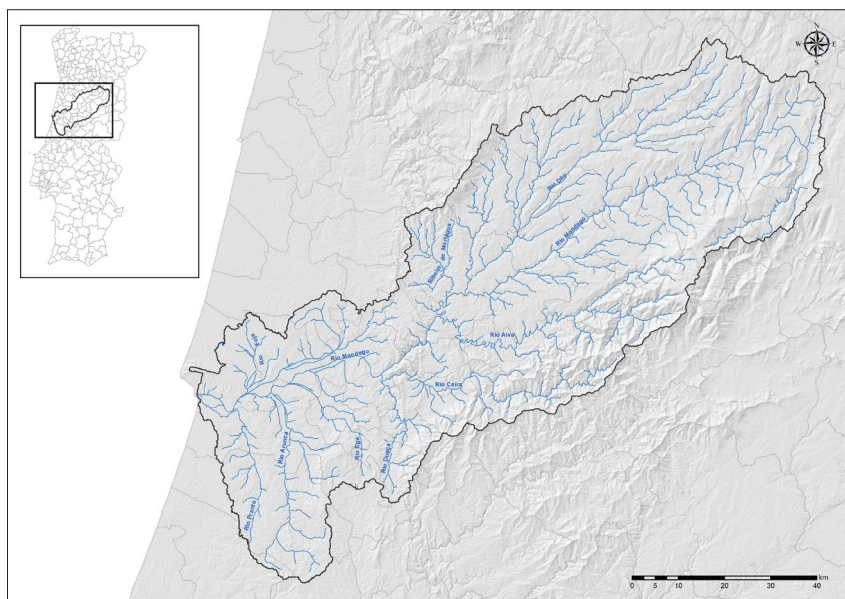


Fig. 1 - Enquadramento geográfico da Bacia Hidrográfica do rio Mondego.

Fig. 1 - Geographical contextualization of the River Mondego Watershed.

O regime hidrológico do rio Mondego é muito irregular, em grande parte devido à distribuição temporal da precipitação, mas também devido ao papel desempenhado pela impermeabilidade das rochas e pela morfologia do sector superior da bacia hidrográfica na geração do escoamento. Efetivamente, a passagem brusca do rio para uma planície aluvionar ampla, depois de percorrer uma série de vales inclinados e estreitos que favorecem a drenagem rápida da bacia a montante de Coimbra, confere ao regime de escoamento na bacia características torrenciais. Em regime pristino, antes das intervenções antrópicas na bacia hidrográfica do rio Mondego, os caudais de cheia podiam atingir em Coimbra valores da ordem dos 3000 m³/s, muito superiores aos caudais de estiagem, da ordem de 1 m³/s, para um caudal médio anual de 80 m³/s (Martins, 1940; Lourenço 1986; INAG, 2000; ARHC, 2012).

Sistema constituído pelas barragens da Aguieira-Raiva-Fronhas-Açude Ponte de Coimbra

Atualmente, o controlo e a proteção contra cheias e inundações em Coimbra e no Baixo Mondego, assentam no sistema constituído por: complexo de barragens da Aguieira-Raiva-Fronhas-Açude Ponte de Coimbra; Leito Central de 36 km de extensão a jusante de Coimbra, limitado por dois diques longitudinais, com 4 descarregadores de cheia (3 de diques de sifão e 1 dique fusível) localizados no dique longitudinal direito, e uma capacidade de escoamento para cheias com probabilidade de ocorrência centenária; Leito Periférico Direito e Leito Periférico Esquerdo; Estação Elevatória do Foja (INAG 2000; Lourenço, 1986; Sanches, 1996; Lencastre, 2004).

Este complexo hidráulico (fig. 2), do Plano Geral do Aproveitamento Hidráulico do Mondego, entrou, maioritariamente, em funcionamento na década de 80 do século XX, com objetivo, entre outros, de controlar os caudais líquidos afluentes a Coimbra, reduzindo o caudal de cheia centenária de $3663 \text{ m}^3/\text{s}$ para $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ e com $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ para cheia milenar amortecida (INAG 2000; Lourenço, 1986; Sanches, 1996; Lencastre, 2004).

Metodologia

As cheias catastróficas ocorridas nas últimas décadas na Europa alertaram para a necessidade da elaboração de bases de dados hidrológicos que abranjam grandes períodos temporais. A avaliação de riscos de cheias futuras, especialmente tendo em consideração as recentes mudanças climáticas, pode ser significativamente melhorada com o conhecimento de eventos históricos, nomeadamente, nos casos em que continue a existir uma probabilidade significativa para a ocorrência futura de eventos semelhantes (UE, 2007).

De acordo com Santos (2015) as bases de dados de eventos e de perdas constituem, portanto, uma ferramenta fundamental para a avaliação da vulnerabilidade e dos elementos expostos. Consideramos, mesmo, que são, também, um elemento

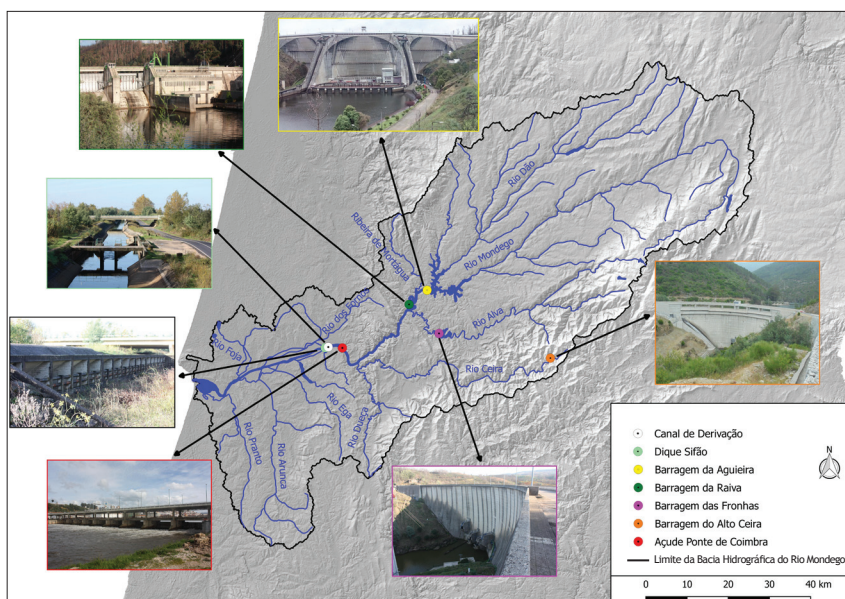


Fig. 2 - Principais estruturas hidráulicas da Bacia Hidrográfica do rio Mondego com funções no controlo dos caudais de cheia.

Fig. 2 - Main hydraulic structures with a peak flood control function of the River Mondego Hydrographic Basin.

importante para a quantificação do risco, para a sua gestão e para um adequado planeamento do território.

Um dos maiores desafios nas análises de risco de cheia é a definição e a classificação de cenários para eventos extremos, com a identificação de eventuais impactos e danos associados. Contudo, a gestão eficaz do risco de cheia requer o conhecimento e a compreensão dos processos, a quantificação do risco de cheia, a identificação dos seus impactos e os seus possíveis desenvolvimentos futuros (Kundzewicz *et al.* 2014; Zischg 2018).

Assim, e para um melhor conhecimento da história hidrológica do rio Mondego procedeu-se à identificação e caracterização dos eventos de cheias do rio Mondego, em Coimbra e no Baixo Mondego, para o intervalo de tempo compreendido entre 1200 a 2021, repartido por dois períodos: 1200 a 1985 - regime de escoamento natural ou pristino; 1986 a 2021 – regime de escoamento regularizado.

Contudo, constatou-se que não existe uma base de dados que centralize toda a informação das perdas e prejuízos das referidas cheias. A informação encontra-se dispersa por diferentes entidades, como serviços municipais, Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, Ministérios da Agricultura e das Infraestruturas e Comunicações, serviços descentralizados do Estado e em particulares. Esta situação dificulta a recolha de dados e a realização de uma avaliação rigorosa aos impactos. A este propósito, Santos (2015, p. 42) refere que as perdas intangíveis não constam da maioria de bases de dados de perdas de um modo economicamente mesurável, senão de um modo descritivo.

Ainda assim, e com base na informação disponível, elaborou-se um inventário, com a ressalva de pecar por defeito, sobre as perdas causadas pelas cheias identificadas para o período de estudo.

A reconstrução dos eventos de cheias históricas e contemporâneas foi realizada a partir de métodos comumente usados por diversos autores, como Barriendos *et al.* (2003), Glaser *et al.* (2010), Llasat *et al.* (2005), Glaser *et al.* (2010), Petrucci *et al.* (2012), Barriendos *et al.* (2014), Bentito *et al.* (2015), Alcoforado (2021).

Procurando uma avaliação integrada dos caudais de cheia em Coimbra, procedeu-se à elaboração de uma base de dados, a partir de 805 fontes, tendo como suporte o levantamento dos eventos de históricos de cheias através de: registos hemerográficos, históricos, técnicos, científicos, governamentais e municipais; georreferenciação de registos epigráficos das alturas e dos limites de inundação; caracterização dos parâmetros hidrológicos (fig. 3).

A caracterização dos eventos de cheias teve como base os seguintes critérios: evidências históricas e hidrológicas; sazonalidade; impactos patrimoniais e humanos; magnitude (cheias ordinárias, extraordinárias e catastróficas).

Na classificação dos impactos utilizaram-se os critérios utilizados por autores como Jonkman *et al.* (2008), Merz *et al.* (2010) e Meyer *et al.* (2013): impactos tangíveis - com valor monetário; impactos intangíveis - sem valor monetário atribuível.

Para a classificação da magnitude das cheias, através dos registos dos seus impactos, procedeu-se a uma adaptação dos critérios utilizados por Barriendos *et al.* (2003 e 2019), Llasat *et al.* (2005), Glaser *et al.* (2010), Barrera-Escoda *et al.* (2015) e Alcoforado *et al.* (2021):

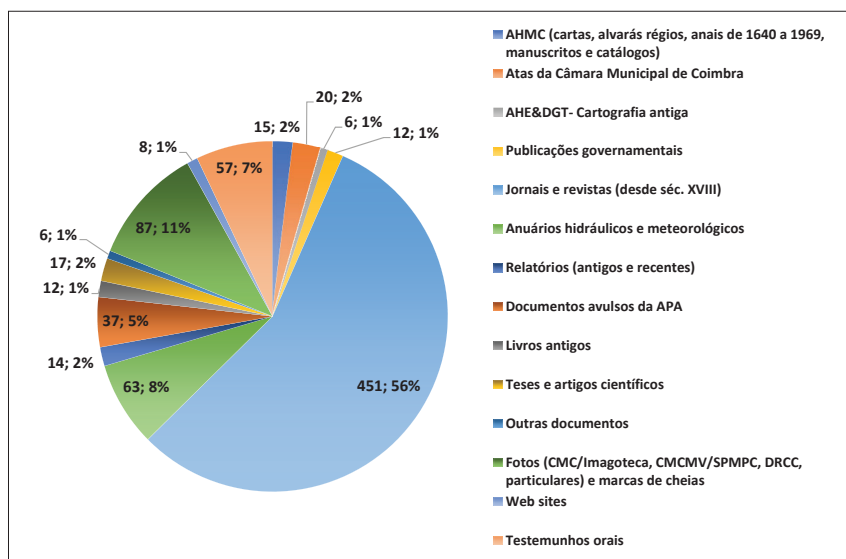


Fig. 3 - Fontes utilizadas na construção da base de dados sobre as cheias do rio Mondego, desde o ano 1200 até 2021.

Fig. 3 - Sources used to construct the database of floods on the River Mondego, from 1200 to 2021.

- *Cheias ordinárias (ORD)*: Caudais de pequenos volumes, com transbordo do curso de água relativamente ao seu leito ordinário, causando a inundação e submersão dos terrenos ribeirinhos, podendo provocar danos limitados nas atividades realizadas nas áreas adjacentes e excecionalmente nas instalações hidráulicas;
- *Cheias extraordinárias (EXT)*: Caudais de médios a grandes volumes, com transbordo do curso de água relativamente ao seu leito ordinário, causando a inundação e submersão de extensas áreas adjacentes. Podem provocar danos às infraestruturas adjacentes ao rio, com possível destruição parcial, incluindo das estruturas hidráulicas, dos edifícios, da rede viária e da agricultura, conforme se trate de períodos de sementeira ou de colheita. A vida quotidiana da população local é afetada, com: evacuados e/ou desalojados de curta e/ou média duração; feridos e/ou mortos; alguma perturbação nas atividades económicas, nos serviços, nos transportes e nas comunicações;

- *Cheias catastróficas (CAT)*: Caudais de volumes excecionais, com transbordo do curso de água relativamente ao seu leito ordinário, com a inundação e submersão de grandes áreas adjacentes, cujos limites atingem ou ultrapassam referências históricas. Elevados prejuízos no património público e particular, com quebra de funções e a necessidade de intervenções de recuperação, devido a grandes danos e/ou destruição de estruturas hidráulicas, edifícios (habitações, comércio, indústria, etc.), equipamentos, infraestruturas (rede viária e rodoviárias, pontes, comunicações, sistemas adutores, espaço público, etc.) e agricultura com destruição de sementeiras e/ou colheitas, perdas de solo, estruturas de apoio, alfaías agrícolas e gado. Perdas de património histórico e cultural. A vida quotidiana da população é afetada, com: populações isoladas; elevado número evacuados e/ou desalojados de longa duração; elevado número de feridos e/ou mortos; perturbação dos serviços públicos, das atividades económicas, dos transportes e das comunicações. Em alguns casos há a necessidade de intervenção de organismos da Administro Central e Local e de organizações da sociedade civil no apoio às vítimas.

Complementarmente, para calibração dos registos, é usado, com elemento de informação, a descrição comparativa entre registos de cheias, por exemplo: a cheia do ano X superou a cheia do ano Y, a maior que se tinha conhecimento; superou as marcas registadas nas grandes cheias anteriores (ex: a inundação atingiu os muros da Quinta das Lágrimas, passou por cima dos túmulos dos reis na Igreja de Santa Cruz e atingiu o altar-mor, passou por cima dos parapeitos da Ponte de Santa Clara (fot.1), testemunho oral indicando o limite superior da coluna de água na ombreira da porta (fot. 2), entre outros.

Para determinar a sazonalidade das cheias - SON (setembro, outubro, novembro), DJF (dezembro, janeiro, fevereiro), MAM (março, abril, maio), JJA (junho, julho, agosto) - identificou-se, sempre que possível, a data do evento, a partir dos indicadores extraídos dos documentos, de acordo com a metodologia usada por Benito *et al.* (2003, 2015), Barriendos *et al.* (2003, 2019), Brázdil *et al.* (2005, 2006), Llasat *et al.* (2005), Glaser *et al.* (2010), Diakakis, M. (2014), Kjeldsen *et al.* (2014), Barrera-Escoda *et al.*, (2015).



Fot. 1 - Ponte de Santa Clara parcialmente submersa por uma cheia do Mondego em finais do séc. XIX (CMC/Imagoteca, 189?).

***Photo 1** - Santa Clara Bridge partially submerged by a Mondego flood at the end of the 19th century (CMC/Imagoteca, 189?).*



Fot. 2 - Testemunho oral e marca da cheia no restaurante “Retiro do Pescador”, em Ereira, Montemor-o-Velho (Fotografia de João Pardal, 31 de julho de 2020).

***Photo 2** - Oral testimony and flood mark at the Retiro do Pescador restaurant, in Ereira, Montemor-o-Velho (Photography by João Pardal, 31 July 2020).*

Para o cálculo do valor dos prejuízos até 1948 utilizaram-se os coeficientes de desvalorização da moeda a aplicar aos bens e direitos alienados durante o ano de 2020, de acordo com a Portaria n.º 220/2020, de 21/09. A partir de 1948 utilizou-se Índice de Preços no Consumidor, a partir dos dados publicados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE, 2021).

As cheias históricas e os impactos associados

Identificação

A história de Coimbra e do Baixo Mondego está associada de forma indelével às cheias do Mondego. Como referiu Martins (1940) a grande irregularidade dos caudais líquidos do Mondego aliada às características do seu vale aluvionar, provocavam sucessivas inundações na área ribeirinha da cidade de Coimbra e nos campos do Baixo Mondego, com enormes prejuízos às populações aí

instaladas, com a perda de vida humanas e danos nos campos agrícolas e vias de comunicação.

Das 296 cheias identificadas, 266 ocorreram em regime de escoamento pristino (período de 1200 a 1985) e 30 em regime de escoamento regularizado (período de 1986 a 2021). Para o período de 1200 a 1985 foram identificadas 173 cheias ordinárias, correspondendo a 65 % do total para este período, 52 cheias extraordinárias (20 %), 30 cheias catastróficas (11 %) e para 11 cheias (4 %), por falta elementos, não foi possível classificá-las. Para o período de 1986 a 2001 foram identificadas 20 cheias ordinárias, correspondendo a 67 % do total para este período, 8 cheias extraordinárias (27 %) e 2 cheias catastróficas (6 %) (fig. 4).

A distribuição sazonal das cheias mostra que o maior número de eventos de cheias ocorre nos meses de inverno, de dezembro a fevereiro, em ambos os regimes de escoamento, pristino com 59 % e regularizado com 83 %. Também é nestes meses que se concentram as cheias de maior severidade, catastróficas e extraordinárias. Em regime pristino, no outono e primavera regista-se uma redução acentuada do número de eventos de cheia, 19% e 20%, respetivamente. Essa redução é mais significativa em regime regularizado, com 10% e 7%. No verão, de junho a agosto, só se verificaram cheias em regime pristino, sendo todas elas de natureza ordinária, representando 3% desta categoria e 2 % do total de cheias (fig. 5).

Devido à dimensão da magnitude, cheias catastróficas, e significância dos seus impactos destacam-se as seguintes cheias: 18/02/1331, 4/01/1334, 24/10/1384, 16/09/1488, janeiro de 1546, 12/02/1708, 3/12/1739, 19/01/1764, 23/02/1788, janeiro de 1804, 24/12/1821, 27/2/1843, 19/11/1852, 25/01/1856, 28/12/1860, 23/01/1872, 4/12/1876, 5/01/1877, 20/12/1878, 12/12/1888, 12/02/1900, 27/02/1902, 19/01/1915, 24/03/1924, 29/01/1948.

Depois da grande de cheia de 1948, e ainda em regime de escoamento pristino, ocorreram mais três cheias consideradas de extraordinárias, 18/01/1955, 2/01/1962 e 4/1/1977. Mais recentemente, já em regime de caudais regularizados, as cheias de 27/01/2001, 13/02/2016 e 21/12/2019 causaram milhões de euros de prejuízos no património público e particular, bem como um considerável grau de destruição das infraestruturas hidráulicas.

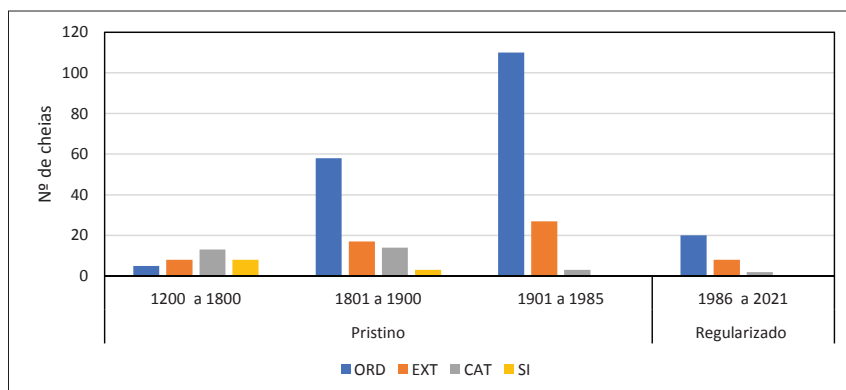


Fig. 4 - Distribuição temporal das cheias ocorridas no rio Mondego, em Coimbra, e da sua magnitude, para os períodos de escoamento em regime pristino (1200 a 1985) e de escoamento em regime regularizado (1986 a 2021), respetivamente.: ORD - cheias ordinárias, EXT - cheias extraordinárias, CAT - cheias catastróficas, SI - sem informação.

Fig. 4 - Temporal distribution of the floods on the River Mondego in Coimbra and their magnitude, for the periods of pristine flow regime (from 1200 to 1985) and regularised flow regime (from 1986 to 2021), respectively. ORD – ordinary floods, EXT – extraordinary floods, CAT – catastrophic floods, SI – without supporting information.

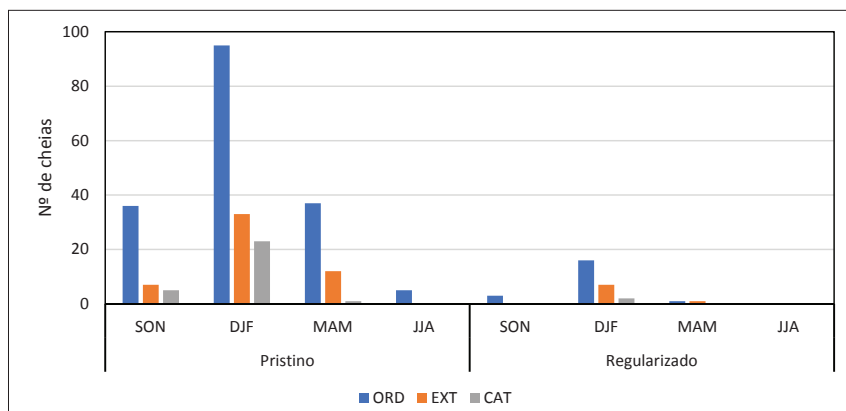


Fig. 5 - Distribuição sazonal das cheias ocorridas no rio Mondego, em Coimbra, e da sua magnitude, para os períodos de escoamento em regime pristino (1200 a 1985) e de escoamento em regime regularizado (1986 a 2021), respetivamente.

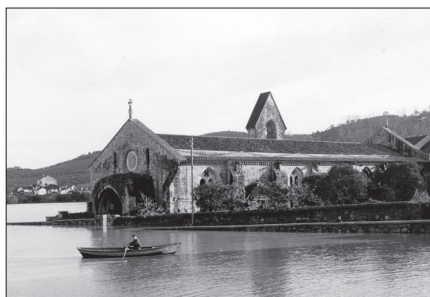
ORD - cheias ordinárias, EXT - cheias extraordinárias, CAT - cheias catastróficas.

Fig. 5 - Seasonal distribution of the floods on the River Mondego in Coimbra and their magnitude, for the periods of pristine flow regime (from 1200 to 1985) and of regularised flow regime (from 1986 to 2021), respectively.

ORD – ordinary floods, EXT – extraordinary floods, CAT – catastrophic floods.

Caracterização de cheias catastróficas ocorridas em regime de escoamento natural

Alguns eventos extremos de cheias originaram períodos de mingua e fome, pela impossibilidade de cultivar os campos, causaram doenças e destruíram pontes, estradas, lagares, azenhas, habitações, comércio, indústria e igrejas (Santa Justa e S. Cucufate - primitiva igreja de S. Bartolomeu), conventos e mosteiros (Sant'Ana, S. Francisco da Ponte, S. Domingos e Santa Clara (fot.s 3 e 4) (QUADRO I).



Fot. 3 - Inundação do Mosteiro de Santa Clara-a-Velha
(CMC/Imagoteca, sem data)

*Photo 3 - Flooding of the Santa Clara-a-Velha monastery
(CMC/Imagoteca, no date).*



Fot. 4 - Marcas de inundação nos pilares e paredes da Igreja do Mosteiro de Santa Clara-a-Velha (Fotografia de João Pardal, 17 de julho de 2021).

Photo 4 - Flood marks on the pillars and walls of the Santa Clara-a-Velha monastery church (Photography by João Pardal, 17 July 2021).

A dimensão de algumas cheias históricas e dos danos daí resultantes levaram, em algumas circunstâncias, à necessidade de intervenção das autoridades administrativas, eclesiásticas, universitárias e organizações da sociedade civil na organização e implementação das operações de socorro e auxílio, nomeadamente na evacuação e alojamento de pessoas, no fornecimento de alimentos e mantimentos. Nessas ações destacaram-se, pela relevância da sua intervenção, para além da Câmara Municipal de Coimbra, o Governo Civil, as Juntas de Paróquia, o Mosteiro de Santa Cruz, a Santa Casa da Misericórdia de Coimbra e a Academia (QUADRO II).

Por exemplo, na cheia catastrófica de 18 de fevereiro de 1331, por ordem do Prior do Mosteiro de S. Cruz, foram gastas as rendas do Mosteiro no auxílio à população. E

QUADRO I - Conventos, mosteiros e igrejas de Coimbra que foram destruídos pelas cheias do rio Mondego.

TABLE I - Convents, monasteries and churches in Coimbra destroyed by flooding of the River Mondego.

	Designação	Localização	Fundação	Cheias	Abandono	Novo
Mosteiros e Conventos	Sant'Anna	Entre-pontes Cellas da Ponte	26/06/1174 (Ocupado em 1184)	1274, 1285, 1331, 1334, 1384, 1488, 1520 (grande destruição)	5/02/1561	5/02/1610 (aos Arcos)
	S. Domingos	Chão da Torre (Figueira Velha)	1227	1334, 1384, 1488, 1520, 1540, 1546 (destruição e abandono)	1540	1546 (rua da Sofia)
	São Francisco da Ponte	Entre-pontes (Rossio Sta. Clara)	1247	1582 a 1584, 1609 (parcialmente destruído), 1617 (destruição das partes restantes)	25/11/1609	2/05/1602 (Monte Esperança)
	Santa Clara	Rossio Sta. Clara	3/04/1283 (refundado em 10/04/1314)	1331, 1334, 1384, 1488, 1520, 1540, 1546, 1582, 1609, 1677 (destruição do Convento, Paço e hospital)	1677	1649 (Monte Esperança)
Igrejas	São Bartolomeu (Primitiva)	Praça do Comércio	927	Afetada sempre que as cheias entravam no Bairro Baixo	-----	16/07/1756 (reformulação)
	Santa Justa	Terreiro da Erva	1110	Destruída em 27/02/1708	1708	24/08/1710 (1.ª pedra rua Sofia)

na cheia de 19 de novembro de 1852 o apoio às vítimas foi prestado pela Misericórdia, ao assegurar alimentos e alojamento no Colégio da Graça. Enquanto a Câmara Municipal de Coimbra, o Governo Civil e a Direção de Obras Públicas, asseguraram o aluguer de barcos e a intervenção direta no socorro à população, a Academia, através dos estudantes universitários, ajudava nas operações de evacuação e na distribuição de alimentos às pessoas que estavam isoladas nas suas casas.

Na cheia de 28 de dezembro de 1860, uma das maiores do séc. XIX, devido ao elevado número de evacuados, desalojados e de mortos, a Santa Casa de Misericórdia, organizou a distribuição dos desalojados pelos mosteiros e conventos (Santa Cruz, Colégio do Carmo e Convento de S. Francisco) e a distribuição de alimentação (rações de bacalhau, arroz e pão). Os órfãos ficaram à responsabilidade da Roda dos Expostos e do Asylo da Infancia Desvalida. Face à gravidade da situação social e económica vivida em Coimbra e no Baixo Mondego o Governo Civil nomeou uma Comissão de Socorro.

QUADRO II - Caracterização de cheias catastróficas ocorridas em regime prístino, com escoamento natural e sem medições de caudais e/ou alturas hidrométricas.
 Evac./Des - Evacuados/Desalojados; Nº ind. - Nº indeterminado; SI - Sem indicação.

TABLE II - Characterisation of the catastrophic floods that occurred in conditions of pristine flow regime and without measurement of discharge and/or hydrometric heights.
 Evac./Des. - Evacuated/Displaced; Nº ind. - Undetermined number; SI - without supporting information.

Data	Impactos humanos		Impactos patrimoniais	Informação adicional
	Evac./Des.	Mortos		
18 de fevereiro de 1331	Nº ind.	Nº ind.	Elevado grau de destruição na cidade: Ponte de Santa Clara, Mosteiro de Santa Clara a Velha, casas, etc.	Comparada a um dilúvio, a cidade ficou isolada. Por ordem do Prior, as rendas do Mosteiro de Santa Cruz foram utilizadas no auxílio à população.
janeiro 1582	Nº ind.	SI	Destruição total ou parcial: Ponte Santa Clara, Mosteiro de S. Clara, Conv. S. Francisco, casas, Igreja Santa Cruz e diversas infraestruturas.	Nos invernos de 1582, 1583 e 1584 ocorreram cheias sucessivas de grande dimensão e capacidade destrutiva.
3 de dezembro de 1739	Nº ind.	Nº ind.	Destruição total ou parcial: Ponte de Santa Clara, casas, comércio, infraestruturas e campos, marachões, quintas e muros. Muito gado morto.	Coimbra e arredores inundados, com isolamento da cidade. Conhecida como a "cheia de S. Barbara", escreveu o Padre Jesuíta Manoel Alvarenga "Vay o Monda correndo arrebatado/Aqui cazas, alli plantas quebrando/Se a huns leva as alfayas desbocado/Da mesma vida a outros vay privando". Cheia catastrófica no rio Douro.
24 de fevereiro de 1788	Nº ind.	Nº ind.	Destruição total ou parcial: Ponte de Santa Clara e outras pontes, casas, comércio, azenhas, moinhos, muros, fábricas, infraestruturas e campos agrícolas. Armazéns de mercadorias com prejuízos de 25000 cruzados (286 649,18 euros). Muito gado morto.	A maior cheia do séc. XVII, a cidade ficou isolada e a inundação atingiu os Bairros Baixos (Cidade e Santa Clara) e Quinta das Lágrimas. Elevados prejuízos no Baixo Mondego e nas salinas da Morraçeta. Cheia catastrófica no rio Douro - Porto com prejuízo de 2 milhões de cruzados (22 931 934,03 euros).
27 de dezembro de 1843	Nº ind.	2	Destruição total ou parcial: Ponte de Santa Clara e outras pontes, casas, azenhas, moinhos, muros, paredes, fábricas, infraestruturas e campos agrícolas, armazéns de mercadorias, comércio, barcos e Caís das Ameias. Milhares de cabeças de gado morto.	Evidências hidrologicas: galgou a ponte de Santa Clara e atingiu a Quinta das Lágrimas. Na Igreja de Santa Cruz a água atingiu o altar-mor e na Ermida do Senhor do Arnado só ficou visível o campanário.
19 de novembro de 1852	Nº ind.	1	Destruição total ou parcial: Ponte de Santa Clara e outras pontes, casas (13), azenhas, moinhos, muros, paredes, fábricas, infraestruturas e campos agrícolas, marachões e motas das margens, armazéns de mercadorias, comércio, barcos e cais das Ameias. Gado morto.	A cidade ficou isolada, por norte e sul. A cheia atingiu pontos onde não havia registros, galgou a Ponte de Santa Clara e inundou os Bairros Baixos (cidade e Santa Clara) até ao 1º andar. Fome na cidade devido à falta de bens alimentares e aumento do custo de vida.
28 de dezembro de 1860	Nº ind.	5	Destruição total ou parcial: Ponte de Santa Clara e outras pontes, casas, azenhas, moinhos, muros, paredes, fábricas, infraestruturas e campos agrícolas, marachões e motas das margens, armazéns de mercadorias, comércio, barcos, canalização da cidade e obras auxiliares da ponte de caminho de ferro a jusante de Coimbra. Número indeterminado de cabeças de gado morto.	Evidências hidrologicas: a cheia e consequente inundação atingiu os passeios da rua da Sofia (marca histórica) e derrubou os muros da Quinta das Lágrimas.

A partir de 1871 a Repartição de Hidráulica de Coimbra inicia, através do importante trabalho desenvolvido pelos “*Observadores Hydrométricos*”, um procedimento regular de registos das alturas hidrométricas da escala da Ponte de Santa Clara. Estes dados foram posteriormente estudados por Loureiro (1874) e Costa (1884) na determinação dos caudais dos principais eventos de cheia até aí ocorridos. Já no século XX, a Direção-Geral dos Recursos Hídricos, especialmente a partir da 1947 e até década de oitenta, deu continuidade ao registo sistemático das alturas hidrométricas e dos caudais dos principais rios portugueses, cujos valores eram publicados nos Anuários dos Serviços Hidráulicos.

Vários autores, como Sanches (1996), Louro e Lourenço (2005) e Marques *et al.* (2005), referem a cheia de 29 de janeiro de 1948 como a maior do século XX, com um caudal de ponta na ordem dos 4147 m³/s. Contudo, foi na cheia de 2 de janeiro de 1915 que se registaram os impactos sociais e económicos mais significativos (QUADRO III). Esta situação deveu-se, fundamentalmente, a três fatores: à hora de ocorrência da ponta de cheia, à velocidade de propagação e à magnitude do caudal (fig. 6 e fot. 5).



Fig. 6 - Reconstituição da área de inundação causada pela cheia de 2 de janeiro de 1915 na cidade de Coimbra.

Fig. 6 - Reconstitution of the inundated area caused by the flood of 2 January 1915, in the city of Coimbra.



Fot. 5 - Praça Velha de Coimbra inundada na cheia de 1915 (CMC/Imagoteca).

Photo 5 - Old Square in Coimbra inundated during the 1915 flood (CMC/Imagoteca).

QUADRO III - Caracterização de cheias catastróficas ocorridas em regime de escoamento natural e com Medições de caudais e/ou alturas hidrométricas. Evac./Des. - Evacuados/Desalojados; Nº ind. - Nº indeterminado; SI - Sem indicação.

TABLE III - *Characterisation of the historical floods in conditions of pristine flow regime and with measurement of discharge and/or hydrometric heights. Evac./Des. - Evacuated/Displaced; Nº ind. - Undetermined number.*

Data	QMI (m³/s)	Impactos humanos		Impactos patrimoniais	Informação adicional
		Evac./Des.	Mortos		
23 de janeiro de 1872	4351	Nº ind.	SI	Destruição total ou parcial: casas; ruas; muros, infraestruturas e campos agrícolas; rutura dos diques marginais; estradas e linha de caminho de ferro submersas e afetadas.	Elevado grau de destruição, com parte da cidade isolada e alagada durante muitos dias, e parte da vida quotidiana e o comércio paralisados. Muitas habitações deterioradas e graves problemas de saúde pública.
4 de de zembro de 1876	3987	Nº ind.	1	Destruição total ou parcial: diques e motas; estacárias; plantações e terrenos agrícolas soterrados com areias; Cais do Porto dos Oleiros; revestimentos; pontes; barcos. Comércio paralisado. Fábricas do Sábão (Santa Clara) e Fábrica das Massas, entre outras, afetadas Valor incalculável dos prejuízos no património do Estado e dos particulares. Nº indeterminado de cabeças de gado morto.	O Mondego já tinha tido uma cheia extraordinária em 14/11/1876 e esteve praticamente em cheia até 5/01/1877, em cuja data ocorreu outra de natureza catastrófica. Linha do Norte foi interrompida. Grandes cheias: Douro, Mondego, Tejo, Guadiana, Sado, Minho, Lima, Zézere e Vouga. Foi criada a Comissão Nacional de Socorro às Vítimas.
20 de dezembro de 1878		Nº ind.	1	Destruição total ou parcial: diques e motas; revestimentos; estacárias; casas; pontes; infraestruturas e campos agrícolas.	Evidências hidrologicas. A cheia durou 3 meses, de que se destacam 5 momentos: 20/12/1878, 5,5m na EH da PSC, cota 22,946m; 28/12/1878, 8/01/1879; 10/02/1879; 26/03/1879.
12 e dezembro 1888		Nº ind.	SI	Destruição total ou parcial: muros; pontes, casas; comércio; azenhas, moinhos; muros, fábricas, infraestruturas e campos agrícolas. 800 cabeças de gado morto na Mata do Choupal. Linhas de caminho de ferro interrompidas: Coimbra - F. Foz; Linha do Norte, Lisboa-Pombal; F. Foz-Lêria: Os serviços de correio e de telégrafo ficaram inoperacionais.	Considerada a maior cheia ocorrida na cidade de Coimbra depois das grandes cheias de 28/12/1860 e de 23/01/1872. Na EH da PSC foi registado 5,5 m (menos 10 cm da cheia de 1872), correspondendo à cota de 22,59 m e a um caudal máximo próximo dos 4000 m³/s, tendo como referência a cheia de 1872.
12 de fevereiro 1900	3325	Nº ind.	1	Destruição total ou parcial: Pontes no Alva, no Ceira e na Mata do Choupal; casas; comércio; fábricas; motas e diques; paredão em frente à Avenida Navarro, paredão do Porto dos Oleiros e em frente à Insua do Chão da Torre; linha de caminho de ferro; estradas e campos agrícolas. Centenas de cabeças de gado morto. Na cidade de Coimbra os prejuízos no comércio foram na ordem dos 3 583 145€. Insalubridade nas habitações e nas ruas afetadas.	Interrupção circulação ferroviária entre Coimbra e Coimbra-bifurcação. Cidade parcialmente paralisada, os operários não puderam a deslocar-se para as fábricas. A CMC e Misericórdia lançam uma operação de apoio aos inundados: pão, bacalhau, arroz e outros bens. Total de donativos: 1100\$000 contos de réis, repartidos pela Misericórdia, Governo Civil; Câmara; Marquesa de Pomares Governo; a que acresce o donativo da rainha D. Maria Pia, do cofre dos inundados.

Data	QMI (m³/s)	Impactos humanos		Impactos patrimoniais	Informação adicional
		Evac./ Des.	Mortos		
19 de janeiro de 1915	3878		1	Destruição total ou parcial: moinhos e diques, incluindo os de proteção à cidade; casas; estradas; pontes; moinhos; lagares; infraestruturas e campos agrícolas; caminho de ferro, linha da Lousã e ramal Coimbra-Coimbra B. Milhares de cabeças de gado morto. Comércio e indústria: 77 estabelecimentos comerciais e armazéns e 21 fábricas com perdas no valor das perdas 9 487 335 €. Vagões de mercadorias destruídos 900 famílias reduzidas à miséria, cerca de 3780 pessoas. A Cidade ficou sem serviço de elétricos, comboios, de água e fornecimento de bens.	Situação de fome na cidade: a Câmara Municipal de Coimbra, a Misericórdia e as Juntas de Paróquias de S. Bartolomeu, Santa Cruz e Santa Clara procederam à distribuição de alimentação (bacalhau, arroz, feijão e pão), cobertores, colchões e vestuário. As vítimas foram acolhidas e diversos locais: no Colégio das Urselinas, no sítio nobre da Câmara Municipal, nos elétricos retirados para o Largo Miguel Bombarda e na esquadra da PSP. O jornal Gazeta de Coimbra lança um pedidório e são recebidos apoios de particulares, dos organismos do estado e das diversas organizações culturais, recreativas e dos sindicatos, no valor de 130 920 €, com destaque para: Governo Civil; Santa Casa da Misericórdia; Irmandade de N.ª Sra. da Conceição de Santa Cruz; Companhia de seguros «A Mundial»; Sociedade de Propaganda de Coimbra.
24 de março de 1924	3513	36		Destruição total ou parcial: 5 habitações ruíram na rua das Parreiras; 4 barcos; 2 quebradas (Martinho e Taveiro); campos agrícolas assoleados; sementeiras destruídas, com perda total dos arrozais; alfaias agrícolas; prejuízos no comércio e na fábrica da Companhia Industrial de Portugal e Colónias; linha da Lousã danificada (Insua dos Bentos e na Arregaça); 4 barcos destruídos.	A tragédia não foi maior devido a dois fatores: ao alcance dos muros de defesa da cidade, obra realizada depois da cheia de 1915; à hora que ocorreu, 9 da manhã, o que permitiu tomar medidas de proteção de pessoas e bens. Os comboios e elétricos estiveram paralisados. Os veículos da Câmara Municipal, do Exército e de particulares realizaram o apoio às populações isoladas, através da distribuição de alimentos e bens de primeira necessidade. As Juntas de freguesia e o Sindicato Agrícola de Coimbra solicitaram apoio governamental.
29 de janeiro de 1948	4147	Nº ind.	3	Destruição total ou parcial: pontes; habitações (Coimbra, Ribeira de Frades e Eiras); moinhos e diques; estradas e caminhos, estação das águas, infraestruturas e campos agrícolas, desde Coimbra à Figueira da Foz. Nº indeterminado de cabeças de gado morto. Em Coimbra ocorreram grandes prejuízos no comércio, serviços e indústria, nomeadamente no Rocio de Santa Clara e na Baixa da Cidade até A. Navarro. Ficou destruído o arquivo dos CTI. Grandes prejuízos, também, em Montemor-o-Velho, Condeixa, Pombal, Soure e na Bacia do Alva.	Cidade ficou parcialmente paralisada e isolada, sem transportes públicos nomeadamente, elétricos e comboios (Coimbra-Coimbra B, Coimbra - Lousã), sem energia elétrica, comunicações telefónicas e devido aos danos causados nas captações de água o fornecimento de água foi realizado pelo Exército. As fábricas pararam por falta de mão de obra e houve escassez de géneros alimentares, como leite e carne. Evidências hidroclógicas: Estradas cortadas e linhas de caminho de ferro submersas (Coimbra Lousã - Coimbra A - Coimbra B); cheias em toda a Bacia Hidrográfica - rio Dão, Ribeira de Moráguia, rio Alva (extraordinária) no Ceira, rio Ega e rio Arunca.

Caracterização das maiores cheias ocorridas em regime de escoamento regularizado

As cheias de 7 de dezembro de 2000, 5 e 27 de janeiro de 2001, 11 de janeiro e 13 de fevereiro de 2016 e 19 de dezembro de 2019 causaram, em Coimbra e no Baixo Mondego, um conjunto significativo de perdas e prejuízos. Contudo, foram as cheias de 27 de janeiro de 2001, 13 de fevereiro de 2016 e 19 de dezembro de 2019 as mais importantes em termos de magnitude dos caudais e dos impactos tangíveis e intangíveis.

A cheia de 27 de janeiro de 2001, com caudal máximo instantâneo de 1960 m³/s, foi a mais gravosa a nível dos impactos patrimoniais e humanos (fot. 6), em que se destacam a destruição de um conjunto de infraestruturas hidráulicas no Baixo Mondego, nomeadamente: ruturas dos diques do leito central, num total de 1455 m; ruturas no Canal Condutor Central (500 m) e no Canal de Lares (700 m); Sifão 2 parcialmente destruído; valas primárias de enxugo, afetação das drenagens de encostas. Ainda a nível dos impactos patrimoniais destacam-se: a queda de pontes; estradas destruídas; linha de caminho de ferro e estruturas da estação de caminhos de ferro de Alfarelos afetadas (fot. 7), ETAR(s) inoperacionais; campos e estruturas agrícolas destruídas, casas de habitação, comércio, serviços e indústria fortemente afetadas.

As principais vias rodoviárias (10 nacionais e 13 municipais) e ferroviárias estiveram interrompidas durante vários dias, com circulação suspensa de comboios na Linha do Norte e Figueira da Foz e a população de toda a região viu o seu quotidiano afetado devido ao isolamento total ou parcial das localidades. Registaram-se 2 mortos e as famílias evacuadas e/ou desalojadas foram cerca de 970, correspondendo a 2813 pessoas.

O abastecimento de água às fábricas de celulose, na Figueira da Foz, e aos campos do Baixo Mondego foi interrompido, a Lusitânia Gás cortou o fornecimento de gás à Figueira da Foz e as pisciculturas e aquaculturas da Ilha da Morraceira foram fortemente afetadas, com a entrada de água do rio Pranto.

O concelho de Montemor-o-Velho foi o mais atingido pelos efeitos da calamidade, com várias localidades inundadas, com destaque para Pereira, Formoselha, Montemor-o-Velho e Ereira, esta última completamente isolada a ser abastecida de alimentos, combustível, medicamentos, serviço domiciliário e médico, por barco.



Fot. 6 - Cheia de 27 de janeiro de 2001:
operação de evacuação de pessoas
na Granja do Ulmeiro
(Fotografia cedida pela Foto Martins)

Photo 6 - Flood of 27 January 2001:
operation to rescue people
in Granja do Ulmeiro
(Photography provided by Foto Martins).



Fot. 7 - Cheia de 27 de janeiro de 2001:
Inundação da estação de caminhos
de ferros de Alfaiolos
(Fotografia cedida pela Foto Martins)

Photo 7 - Flood of 27 January 2001:
Inundation of Alfaiolos
railway station
(Photography provided by Foto Martins)

Em Coimbra as infraestruturas de água e saneamento foram fortemente afetadas (ETAR(s), EEAR(s), condutas adutoras, interceptores, captações de água). Na Freguesia de Ceira os prejuízos, aconteceram nomeadamente em habitações e nas explorações de viveiros. A agricultura e agropecuária do Baixo Mondego foi fortemente afetada com danos de grandes dimensões, nomeadamente: Quinta do Foja, Quinta da Boavista, Quinta dos Castelos, Quinta do Seminário, Quinta do Canal e Quinta do Giralda.

As cheias de 11 de janeiro e de 13 de fevereiro 2016, com caudais máximos instantâneos de 1487,2 e 1963,5 m³/s, causaram prejuízos significativos na cidade de Coimbra, ao nível do património do estado, municipal e particular. Os prejuízos no Mosteiro de Santa Clara a Velha foram de 614 514€ (património publico classificado) e nas infraestruturas e equipamentos do Município de Coimbra, foram de cerca de 2 105 855€ (equipamentos públicos, com especial incidência nas duas margens do Parque Verde do Mondego; os muros de suporte/taludes, pavimentos; órgãos de drenagem pluvial da envolvente do Convento de Santa Clara-a-Velha edifícios municipais, piscinas e o restaurante do Parque Verde do Mondego e o Exploratório, extravasamento de linhas de água) (fot. 8 e 9). A circulação de

comboios na Linha do Norte foi suspensa e circulação como em algumas estradas do Baixo Mondego esteve interrompida. Registaram-se 3 mortos e em Coimbra a Proteção Civil realizou 18 salvamentos aquáticos.

As cheias de 2016 provocaram, também, danos a jusante dos descarregadores de cheia existentes no leito central do rio Mondego (decorrentes da entrada em funcionamento dos diques de fusível e sifão), com erosão das estruturas de apoio e degradação do caminho paralelo e, ainda, as inundações dos campos a montante, decorrente da falta de regularização dos caudais afluentes ao rio Mondego .



Fot. 8 - Cheia de 13 de fevereiro de 2016: Parque Verde do Mondego, destruição dos bares e restaurantes das docas (Fotografia de João Pardal, 13 de Fevereiro de 2016).

***Photo 8** - Flood of 13 February 2016: Mondego's Parque Verde; destruction of bars and restaurants near the docks (Photography by João Pardal, 13 February 2016).*



Fot. 9 - Cheia de 13 de fevereiro de 2016: Inundação da rua de baixo de Santa Clara (Fotografia de João Pardal, 13 de Fevereiro de 2016).

***Photo 9** - Flood of 13 February 2016: Flooding in Rua de Baixo, Santa Clara, Coimbra (Photography by João Pardal, 13 February 2016).*

A cheia de 21 de dezembro de 2019, com caudal máximo instantâneo de 2182,7 m³/s, registou o maior caudal máximo instantâneo ocorrido em regime de escoamento regularizado. Contudo, o grau de destruição foi menor do que o registado em de 27 de janeiro de 2001 (fig.s 7 e 8), com a rutura de 2 diques e do canal condutor central, ao invés das 16 ruturas ocorridas na cheia de 27 de janeiro de 2001. Após galgamento, o primeiro dique cedeu no dia 21 de dezembro, entre Santo Varão e Formoselha, na margem direita do Leito Central do Mondego, cujas consequências foi a destruição do canal condutor geral e a inundação de extensas áreas do vale, arrastando e depositando o

material do aterro do dique nos campos agrícolas adjacentes, erodindo estes e destruindo um troço da estrada do rio (fot. 10). No dia 22 de dezembro, consequência da rutura do dia anterior, a água acumulada no vale iniciou um processo erosivo do talude do dique esquerdo do Leito Periférico Direito, que levou ao seu colapso a montante da povoação de Casal Novo do Rio (Montemor-o-Velho), cerca meio quilómetro da ponte das Lavandeiras. Esta rutura causou consideráveis prejuízos no Centro de Alto Rendimento de Montemor-o-Velho.

Com a entrada em funcionamento, na manhã de 21 de dezembro, do dique fusível do Choupal, que debitou um caudal de cerca de 200 m³/s para o Valeiro do Campeão, em direção ao rio Velho, o Canal Condutor Geral, junto à passagem hidráulica, ficou destruído numa extensão de 100 m (fot. 11), causando a inundação das infraestruturas desportivas da Academia OAF. Com efeito, vastas áreas da planície aluvial do rio Mondego ficaram submersas pela água e algumas povoações ribeirinhas ficaram isoladas, com estradas cortadas e danos significativos em múltiplas infraestruturas (ex. sistema de abastecimento de água, incluindo a rega dos campos do Baixo Mondego e o fornecimento à indústria de papel) e diretamente nos campos agrícolas. Durante vários dias, esteve suspensa a circulação de comboios na Linha do Norte, na estação de caminhos de ferro de Alfarelos.



Fot. 10 - Cheia de 21 de dezembro de 2019: rutura do dique longitudinal direito do leito central do Mondego em Santo Varão (Fotografia de João Pardal, 24 de dezembro de 2019).

Photo 10 - Flood of 21 December 2019: breach of the right longitudinal levee of the Mondego's central riverbed, in Santo Varão (Photograph by João Pardal, 24 December 2019).



Fot. 11 - Cheia de 21 de dezembro de 2019: rutura do Canal Condutor Geral em Coimbra (Fotografia de João Pardal, 24 de dezembro de 2019).

Photo 11 - Flood of 21 December 2019: breach of the General Conveyance Channel, in Coimbra (Photograph by João Pardal, 24 December 2019).

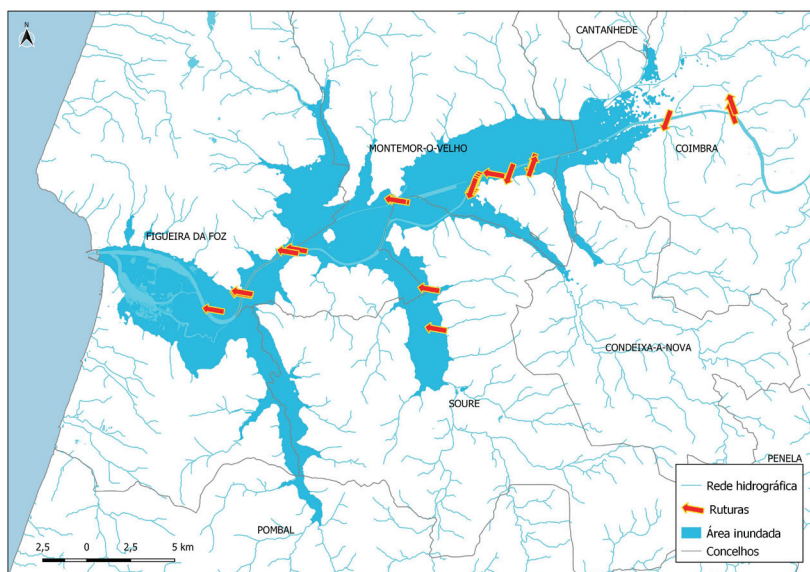


Fig. 7 - Reconstituição da área de inundação (15731 ha) e pontos de rutura dos diques causados pela cheia de 27 de janeiro de 2001.

Fig. 7 - Reconstitution of the inundated area (15731 ha) and breach points in the levees caused by the 27 January 2001 flood.

Em Coimbra, a jusante do Açude Ponte de Coimbra, o caudal do Mondego atingiu o coroamento dos diques, nomeadamente no dique esquerdo, junto à Feira dos 23, tendo ocorrido um pequeno galgamento no dique direito, nas imediações do Centro Hípico.

Devido ao risco de galgamento, a Câmara Municipal realizou a maior operação evacuação de sempre. Foram evacuadas as populações das localidades ribeirinhas da margem esquerda, entre Bencanta e o Ameal, num total de 2788 pessoas. Esta operação foi a maior evacuação desde a regularização dos caudais Mondego, envolveu uma mobilização significativa de meios, nomeadamente: Proteção Civil, Polícia Municipal, Polícia de Segurança Pública, Guarda Nacional Republicana, Bombeiros, parte da frota de autocarros dos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra, Segurança Social, Instituições Particulares de Solidariedade Social e Associações Culturais e Desportivas. No Baixo Mondego, antecipadamente e por questões de segurança, foram evacuadas cerca de duas centenas de pessoas nos concelhos de Montemor-o-Velho e Soure.

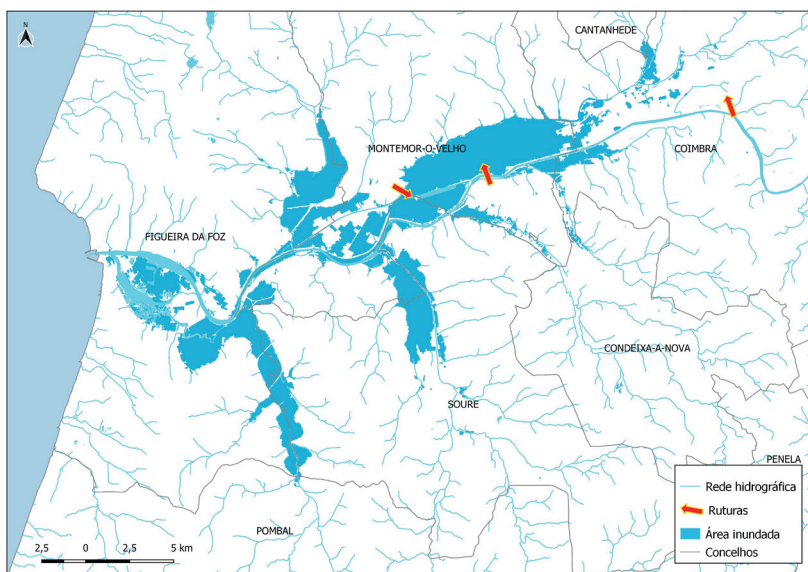


Fig. 8 - Reconstituição da área de inundação (9703 ha) e pontos de rutura dos diques causados pela cheia de 21 de dezembro de 2019.

Fig. 8 - Reconstitution of the inundated area (9703 ha) and breach points in the levees caused by the 21 December 2019 flood.

Os valores globais das obras de recuperação das infraestruturas hidráulicas do Aproveitamento Hidráulico do Baixo Mondego afetadas pelas cheias de 2001, 2016 e 2019, foram respetivamente de: 18 228 390€, 3 410 334€ e 3 160 455€.

Em síntese, as inundações, resultantes dos eventos de cheias estudadas, afetaram as localidades ribeirinhas obrigando à evacuação de populações, causaram cortes de estradas e interrupções no funcionamento da linha de caminho-de-ferro, destruíram campos agrícolas, originaram elevados prejuízos no comércio, na indústria, em equipamentos desportivos, no património histórico e de lazer, provocaram a rutura dos diques e danos em diversas estruturas hidráulicas.

Conclusão

O presente trabalho, a partir de bases documentais históricas e registos hidrométricos (antigos e atuais), permitiu fazer uma primeira abordagem aos eventos

de cheia do ponto de vista histórico, através da classificação da sua magnitude, em cheias ordinárias, extraordinárias e catastróficas, e da identificação dos impactos pelos quais foram responsáveis.

Para os períodos de 1200 a 1985, regime de escoamento natural ou pristino, e de 1986 a 2021, regime de escoamento regularizado, foram estudadas 296 cheias. Destas, 32 foram classificadas de catastróficas, sendo que duas delas, em 2001 e 2019, ocorreram em regime de escoamento regularizado e as restantes em regime de escoamento natural. A cheia de fevereiro de 2016, não obstante a dimensão do seu caudal máximo instantâneo, os seus impactos, em magnitude e significância, foram inferiores aos das cheias de 2001 e 2019.

As cheias de maior severidade, catastróficas e extraordinárias, concentram-se, para os períodos estudados, particularmente no Inverno (DJF), assim como as cheias ordinárias.

As cheias do rio Mondego e a consequente inundação da cidade de Coimbra, da planície aluvial e das povoações ribeirinhas, constituem um facto incontornável da história hidrológica e hidráulica deste rio, onde as referências históricas assinalam alterações nos processos de natureza erosiva e sedimentação, de ocupação do território e da necessidade de construir sistemas de proteção contra as cheias.

A partir da alta Idade Média regista-se um aumento da frequência e dos impactos das cheias, nomeadamente as de maior severidade, cheias catastróficas e extraordinárias, com impactos negativos significativos de natureza humana (morte e desalojamento de populações) e de natureza material e de disrupção de serviços e funções socioeconómicas.

As medidas estruturais de controlo e proteção contra as cheias e inundações em Coimbra e no Baixo Mondego, construídas no final da década de 70 e década de 80 do séc. XX, constituídas pelas barragens Aguieira-Raiva-Fronhas-Açude Ponte de Coimbra e pelo sistema de leitos regularizados no Baixo Mondego tiveram um efeito positivo ao reduzir a frequência e a severidade com que as cheias atingiam a cidade de Coimbra e as localidades ribeirinhas do Baixo Mondego, aumentaram os níveis de segurança e permitiram agricultura mais desenvolvida. O Bairro Baixo de Coimbra não voltou a ser inundado. As perdas humanas, o grau de afetação do quotidiano da população, o efeito destrutivo da agricultura, com perdas totais nas colheitas e sementeiras, e de infraestruturas diminuíram. Ainda assim, continuam-se

a registar perdas significativas no património público e privado, em algumas infraestruturas e nas estruturas hidráulicas.

Os impactos negativos das cheias do Mondego, sobre os sistemas sociais, económicos e ambientais, são transversais aos dois períodos, variando, somente, na sua magnitude, significado e grau de afetação aos elementos expostos. Em diferentes momentos a administração, central e local e organizações da sociedade civil tiveram que intervir no apoio às vítimas e na recuperação das infraestruturas afetadas. Refiram-se a título de exemplo as cheias de 1331, 1488, 1739, 1788, 1852, 1860, 1872, 1876, 1900, 1915, 1948, 2001 e 2019.

Desde a entrada em pleno funcionamento das barragens da Aguieira, Raiva e Fronhas, em 1986, até às grandes cheias do Inverno 2000/2001, que as estruturas de proteção contra as cheias induziam, na sociedade e nas suas organizações, um sentimento de segurança, conhecido pelo “*feito de dique*” (Di Baldassarre, 2018). Contudo, para eventos de cheias de grande magnitude, têm-se registado perturbações no quotidiano das populações e danos significativos, no valor de milhões de euros de prejuízos, nas infraestruturas hidráulicas, rede rodoviária e ferroviária, agricultura, equipamentos de lazer e desportivos.

O Mondego poderá estar parcialmente “domado” pelas obras hidráulicas, mas não está completamente controlado. A história hidrológica do rio e das suas cheias, nomeadamente as de natureza catastrófica (tanto em regime de escoamento natural como em regime regularizado), e assumindo que estes eventos poderão ocorrer no futuro, indica que é necessário adaptar o atual sistema de gestão da bacia hidrográfica a esta realidade, de forma a mitigar os eventuais danos e prejuízos.

Agradecimentos

À Agência Portuguesa do Ambiente/Administração da Região Hidrográfica do Centro, ao Eng.º Carlos Batista e ao Eng.º José Manuel Proença, pela cedência de dados hidrométricos. À Dr.ª Paula França do Arquivo Histórico Municipal de Coimbra. Ao Eng.ª Manuel Fernandes. Pedro Pinto Santos é financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo projeto com a referência CEEIND/00268/2017.

Bibliografia

- Alcoforado, M. J., Silva, L.P., Amorim, I., Fragoso, M. e Garcia, J. C. (2021). Historical floods of the Douro River in Porto, Portugal (1727–1799). *Climatic Change*, 165, 17.
DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s10584-021-03039-7>
- Alvarenga, M. (1740). *Relação dos estragos, que desde o dia 3 de Dezembro athe 6 do mesmo mez do prezente anno de 1739 infelizmente cauzou nesta Cidade de Coimbra huma sempre memoranda tempestade*. Coimbra, Portugal: No Real Collegio das Artes da Companhia de Jesus.
- Amaral, I. (1968). As inundações de 25/26 de Novembro de 1967 na região de Lisboa. *Finisterra*, 3(5).
DOI: <https://www.doi.org/10.18055/Finis2513>
- APA – AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (2016). Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Vouga, Mondego e Lis (RH4).
- ARHC - ADMINISTRAÇÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO CENTRO (2012). Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Vouga, Mondego e Lis Integrados na Região Hidrográfica 4.
- Barredo, J. (2007). Major Flood Disasters in Europe: 1950–2005. *Natural Hazards*, 42, 125–148.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-006-9065-2>
- Barredo, J. (2009). Normalised flood losses in Europe 1970–2006. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 97–104. DOI <https://doi.org/10.5194/nhess-9-97-2009>
- Barrera-Escoda, A. e Llasat, M. C. (2015). Evolving flood patterns in a Mediterranean region (1301–2012) and climatic factors – the case of Catalonia. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 465–483, DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-19-465-2015>
- Barriendos, M., Coeur, D., Lang, M., Llasat, M. C., Naulet, R., Lemaitre, F. e Barrera, A. (2003). Stationarity analysis of historical flood series in France and Spain (14th–20th centuries). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 3, 583–592. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-3-583-2003>
- Barriendos, M. e Rodrigo, F. (2006). Study of historical flood events on Spanish rivers using documentary data. *Hydrological Sciences Journal*, 51(5), 765–783.
DOI: <https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.765>
- Barriendos, M., Ruiz-Bellet, J.L., Tuset, J.P., Mazón, J., Balasch, J.C., Pino, D. e Ayala, J.L. (2014). The “Prediflood” database of historical floods in Catalonia (NE Iberian Peninsula) AD 1035–2013, and its potential applications in flood analysis. *Hydrology and Earth System Sciences* (DEU), 18, 4807–4823. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-18-4807-2014>
- Barriendos M., Gil-Guirado S, Pino D, Tuset, J., Pérez Morales, A., Alberola-Romá, A., Costa, J., Balasch, J. C., Castellort, X., Mazón, J. e Ruiz-Belle, J. L. (2019). Climatic and social factors behind the Spanish Mediterranean flood event chronologies from documentary sources (14th–20th centuries). *Glob Planet Chang*, 182:102997. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.102997>
- Benito, G., Díez-Herrero, A. e Fernández de Villalta, M. (2003). Magnitude and Frequency of Flooding in the Tagus Basin (Central Spain) over the Last Millennium. *Climatic Change* 58, 171–192 (2003).
DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1023417102053>
- Benito, G., Brázdil, R., Herget, J. e Machado, M. J. (2015). Quantitative historical hydrology in Europe. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 3517–3539. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-19-3517-2015>

- Brázdil, R., Pfister, C., Wanner, H., Von Storch, H. e Luterbacher, J. (2005). Historical Climatology In Europe – The State of The Art. *Climatic Change*, 70. 363-430.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-005-5924-1>
- Brázdil, R., Kundzewicz, Z. e Benito, G. (2006) Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrol Sci J.*, 51, 739–764. DOI: <https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.739>
- Cabral, E. (1791). Memória sobre os danos do Mondego no Campo de Coimbra, e seu remédio, in *Memórias Económicas da Academia Real das Sciencias de Lisboa (1791)*. Lisboa: Banco de Portugal, tomo III, 141-165.
- CMCP - CÂMARA MUNICIPAL DE CASTELO DE PAIVA (2022). *15º Aniversário da Tragédia da Queda da Ponte Hintze Ribeiro*. Disponível em <https://www.cm-castelo-paiva.pt/pt/noticias/actualidade/15-aniversario-da-tragedia-da-queda-da-ponte-hintze-ribeiro>
- Costa, J. (1884). Noticia sobre os estudos hidrométricos no Mondego e seus afluentes. Determinação do caudal do Mondego e do coeficiente de escoamento da sua bacia. *Revista de obras públicas e Minas*, Tomo XV, 175-176.
- Cunha, P., Dinis, J., e Reis, R. (1997). *Avaliação das modificações antrópicas actuais nos subambientes sedimentares do estuário do Mondego* (Relatório final do projecto de investigação PEAM/C/ GEN/247/93 (Prog. Esp. Ambiente: JNICT/DGA)). Coimbra, Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Diakakis, M. (2014). Flood seasonality in Greece and its comparison to seasonal distribution of flooding in selected areas across southern Europe. *Journal of Flood Risk Management*, 10.
DOI: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12139>
- Di Baldassarre, G., Kreibich, H., Vorogushyn, S., Aerts, J., Arnbjerg-Nielsen, K., Barendrecht, M., Bates, P., Borga, M., Botzen, W., Bubeck, P., De Marchi, B., Llasat, C., Mazzoleni, M., Molinari, D., Mondino, E., Mård, J., Petrucci, O., Scolobig, A., Viglione, A. e Wård, P. J. (2018). Hess Opinions: An interdisciplinary research agenda to explore the unintended consequences of structural flood protection. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 5629-5637. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-22-5629-2018>
- EM-DAT - EMERGENCY EVENTS DATABASE (2022). The OFDA/CRED International Disaster Database. Acedido a 23 de janeiro de 2022. Disponível em www.emdat.be.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2003). *Europe's Environment*. The Dobris Assessment. Copenhaga (Dinamarca), OPOCE, 213-229.
- UE. Diretiva 2007/60/CE relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações. *Jornal Oficial da União Europeia*, 27-34 (2007). Acedido a 2 jan. 2022. Disponível em <https://eur-lex.europa.eu/>
- Feio, M. e Daveau, S. (org.) (2004). *O Relevo de Portugal: Grandes Unidades Regionais* [PDF]. Disponível em https://apgeomorfologos.pt/wp-content/uploads/Vol_2_redux.pdf
- Glaser, R., Riemann, D., Schönbein, J., Barriendos, M., Rudolf, R., Bertolin, C., Camuffo, D., Deutsch, M., Dobrovolný, P., Engelen, A., Enzi, S., Halíčková, M., Koenig, S. J., Kotyza, O., Limanówka, D., Macková, J., Sghedoni, M., Martin, B. e Himmelsbach, I. (2010). The variability of European floods since AD 1500. *Climatic Change*, 101, 235-256. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9816-7>
- Hall, J., Arheimer, B., Borga, M., Brázdil, R., Claps, P., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kriauciūnienė, J., Kundzewicz, Z. W., Lang, M., Llasat, M. C., Macdonald, N., McIntyre, N., Mediero, L., Merz,

- B., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Neuhold, C., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Plavcová, L., Rogger, M., Salinas, J. L., Sauquet, E., Schär, C., Szolgay, J., Viglione, A. e Blöschl, G. (2014). Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2735-2772. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-18-2735-2014>
- Hipólito, J., e Vaz, A. (2013). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. Lisboa, Portugal: Inst. Superior Técnico de Lisboa.
- INAG - INSTITUTO DA ÁGUA (2000). Plano da Bacia Hidrográfica do rio Mondego.
- INE - INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2021). Índice de Preços no Consumidor. Acedido a 22 de nov. de 2021. Disponível em <https://www.ine.pt>
- Jonkman, S. N., Bočkarjova, M., Kok, M. e Bernardini, P. (2008). Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. *Ecological Economics*, 66(1), 77-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.022>
- Kjeldsen, T.R., Macdonald, N., Lang, M., Mediero, L., Albuquerque, T., Bogdanowicz, E., Brázdil, R., Castellarin, A., David, V., Fleig, A.K., Gül, G.O., Kriaučiūniene, J., Kohnová, S., Merz, B., Nicholson, O., Roald, L.A., Salinas, J.L., Šarauskienė, D., Šraj, M., Strupczewski, W.G., Szolgay, J., Toumazis, A., Vanneuville, W., Veijalainen, N. e Wilson, D. (2014). Documentary evidence of past floods in Europe and their utility in flood frequency estimation. *Journal of Hydrology*, 517, 963-973. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.06.038>
- Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S.I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Bouwer, L.M., Arnell, N., Mach, K., Muir-Wood, R., Brakenridge, G.R., Kron, W., Benito, G., Honda, Y., Takahashi, K. e Sherstyukov, B. (2014). Flood risk and climate change: Global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal* 59(1), 1–28. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.857411>
- Llasat, M. C., Llasat-Botija, M., Prat, M. A., Porcú, F., Price, C., Mugnai, A., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Katsanos, D., Michaelides, S., Yair, Y., Savvidou, K. e Nicolaides, K. (2010). High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database, *Adv. Geosci.*, 23, 47–55. DOI: <https://doi.org/10.5194/adgeo-23-47-2010>
- Lencastre, A. (2004). *Hidráulica Fluvial e Agrícola. Memórias Técnicas*. Volume III. Lisboa, Portugal: Laboratório Nacional de Engenharia Civil., 460 p.
- Lourenço, L. (1986). Aproveitamento hidráulico do vale do Mondego. In F. Rebelo, L. Lourenço e M. Matos (Eds.), *Problemas do Vale do Mondego* (p45-59). Disponível em https://www.uc.pt/fluc/nicif/Publicacoes/Estudos_de_Colaboradores/PDF/Livros_e_Guias/1986_IVColoquio_de_geo
- Louro, S. e Lourenço, L. (2005). O comportamento hidrológico do Rio Mondego perante os valores de precipitação intensa, em Coimbra. *Territorium – Revista de Geografia Física aplicada no Ordenamento do Território e Gestão dos Riscos Naturais*, 12, 19-27. DOI: http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723_12_3
- Loureiro, A. (1874). Memoria sobre o Mondego e barra da Figueira. *Revista de Obras Públicas e Minas*, ano V, tomo V.
- Loureiro, J. (2009). *Rio Tejo: As Grandes Cheias 1800-2007* [PDF]. Disponível em https://apambiente.pt/sites/default/files/_SNIAMB_A_APA/Publicacoes/Tagides/TAGIDES_01.pdf.
- Marques, J., Mendes, P., e Seabra Santos, F. (2005). Cheias em áreas urbanas: a zona de intervenção do programa polis em Coimbra. *Territorium – Revista de Geografia Física aplicada no Ordenamento do Território e Gestão dos Riscos Naturais*, 12, 29-53. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_12_4

- Martins, A. (1940). *O Esforço do Homem na Bacia do Mondego*. Coimbra, ed. Autor, 299 p.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R. e Thieken, A. (2010). Assessment of economic flood damage. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1697–1724. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010>
- Meyer, V., Becker, N., Markantonis, V., Schwarze, R., van den Bergh, J. C. J. M., Bouwer, L. M., Bubeck, P., Ciavola, P., Genovese, E., Green, C., Hallegatte, S., Kreibich, H., Lequeux, Q., Logar, I., Papyrakis, E., Pfurtscheller, C., Poussin, J., Przyluski, V., Thieken, A. H. e Viavattene, C. (2013). Assessing the costs of natural hazards – state of the art and knowledge gaps. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 1351-1373. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1351-2013>
- Pereira, D., Pereira, P., Santos, L., e Silva, J. (2014). Unidades Geomorfológicas de Portugal Continental. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 15(4). Disponível em <http://www.lsic.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/549>
- Petrucchi, O., Pasqua, A. e Polemio, M. (2012). Flash Flood Occurrences Since the 17th Century in Steep Drainage Basins in Southern Italy. *Environmental management*, 50, 807-18. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9935-1>
- Portaria n.º 220/2020 de 21 de setembro do Secretário de Estado Adjunto e dos Assuntos Fiscais. Diário da República: I série, n.º 184 (2020). Acedido a 2 jan. 2022. Disponível em www.dre.pt
- Ramos, C., e Reis, E. (2001). As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas. *Finisterra*, 36(71), 61-82. DOI: <https://doi.org/10.18055/Finis1648>
- Rebelo, F. (2001). *Gerar e gerir o risco de inundação – o caso da Bacia do Mondego. Riscos Naturais e Ação Antrópica*. Coimbra, Portugal: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Sanches, R. (1996). *O Problema Secular do Mondego e a sua Resolução*. Lisboa, Portugal: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Santos, P. P. (2015). *Cheias e inundações: avaliação, impactos e instrumentos para a gestão do risco* (Dissertação de Doutoramento). Universidade de Lisboa, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Disponível em <http://hdl.handle.net/10451/22720>
- TCE - TRIBUNAL DE CONTAS EUROPEU (2018). *Diretiva Inundações: houve progressos na avaliação dos riscos, mas é necessário melhorar o planeamento e a aplicação* (Relatório Especial). Tribunal de Contas Europeu. Disponível em https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_25/SR_FLOODS_PT.pdf
- UNISDR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (2015). *Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management*. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction [PDF]. Disponível em https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/gar-pdf/GAR2015_EN.pdf
- Wallemacq, P. e House, R. (2018). Economic Losses, Poverty and Disasters 1998-2017 [PDF]. Disponível em https://www.preventionweb.net/files/61119_credeconomiclosses.pdf
- Zischg, A. P., Hofer, P., Mosimann, M., Röthlisberger, V., Ramirez, J.A, Keiler, M. e Weingartner, R. (2018). Flood risk (d)evolution: Disentangling key drivers of flood risk change with a retro-model experimente. *Science of The Total Environment*, 639, 195-207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.056A>

**GESTÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO
NO BAIXO MONDEGO**
FLOOD RISK MANAGEMENT IN BAIXO MONDEGO

Carlos Luís Tavares

Comando Distrital de Operações de Socorro de Coimbra
Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (Portugal)
codis.coimbra@prociv.pt

Resumo: As medidas estruturais de proteção são fundamentais na redução do risco de cheias e inundações no Baixo Mondego. Os eventos de 2000, 2001, 2016 e, principalmente, de 2019 mostraram, contudo, a necessidade de serem complementadas com o desenvolvimento de atividades não-estruturais no âmbito do ordenamento do território, gestão da emergência e envolvimento das comunidades locais em todo o processo de gestão do risco.

Palavras-chave: Gestão do risco, socorro e proteção civil.

Abstract: Structural protection measures are fundamental in reducing the risk of floods and floods in Baixo Mondego. However, the events of 2000, 2001, 2016 and, in particular, of 2019 show that they need to be supplemented with the development of non-structural activities. These fall within the scope of spatial planning, emergency management and involvement of local communities throughout the process of risk management.

Keywords: Risk management, relief, and civil protection.

Introdução

As cheias e inundações 2000, 2001, 2016 e, principalmente, de 2019 vieram demonstrar que o tão desejado domínio do Mondego nunca foi além de uma vitória efêmera, havendo necessidade de repensar o modo de uso e ocupação do solo, concluir e manter com elevados padrões de operacionalidade a obra de regularização do caudal do Mondego e seus afluentes, bem como tornar a população mais resiliente a este tipo de eventos.

Estes acontecimentos tendem, como tudo indica, a ser cada vez mais frequentes e severos, afigurando-se como potenciadores de acidentes graves ou catástrofes suscetíveis de afetar as pessoas, os seus bens e o ambiente e de colocar uma maior pressão na comunidade e na administração pública, exigindo-se, por isso, o fortalecimento dos instrumentos, mecanismos e procedimentos ao dispor dos serviços e sistema de proteção civil na prevenção e mitigação do risco ante eventos desta natureza.

Este artigo resume a comunicação efetuada no XIV Encontro “*Risco de cheias e risco de inundações fluviais. Aprender com o passado*” e tem como base a dissertação que o autor apresentou ao Instituto Superior de Ciências da Informação e Administração para a obtenção do grau de mestre em Gestão de Emergência e Socorro. Pretende dar nota das variáveis que concorrem para a génese dos eventos de cheias e inundações no Baixo-Mondego, a sua dimensão espaço-temporal e o seu impacte nas populações, nos seus bens e no ambiente. Identifica, igualmente, a forma como ao longo do tempo se perceberam e geriram estas manifestações e a necessidade de adaptação do sistema de proteção e socorro às alterações climáticas em curso.

Por outro lado, procuramos dar nota da experiência operacional adquirida e vivida ao longo de duas dezenas de anos no distrito de Coimbra na coordenação e comando de ocorrências resultantes de episódios de elevada precipitação, elencando um conjunto de necessidades, constrangimentos, procedimentos e recomendações que vão desde o aprofundamento de questões relacionadas com o ordenamento do território, gestão da emergência, coordenação institucional e comando operacional, logística e envolvimento das populações na prevenção e mitigação do risco como forma de as tornar mais resilientes a eventos de cheias e inundações no vale do Mondego.

A gestão do risco de cheias e inundações

O incremento das atividades humanas nas zonas ribeirinhas contruiu uma realidade complexa de riscos e vulnerabilidades susceptíveis de em caso de precipitação extrema ou periodos de chuva prolongada poder afetar as pessoas, os seus bens e o ambiente.

Apesar da evolução técnica e científica no conhecimento e controlo das forças da natureza, as comunidades permanecem bastante vulneráveis perante eventos excepcionais de origem meteorológica e hidrológica. Por outro lado, parece existir uma tendência significativa para que as alterações climáticas em curso possam potenciar a frequência e intensidade de alguns eventos meteorológicos extremos e ter um efeito amplificador sobre o risco de inundação já existente e, assim, constituírem, no futuro, uma ameaça dramática para áreas de maior suscetibilidade e vulnerabilidade a este tipo de eventos (fig. 1).

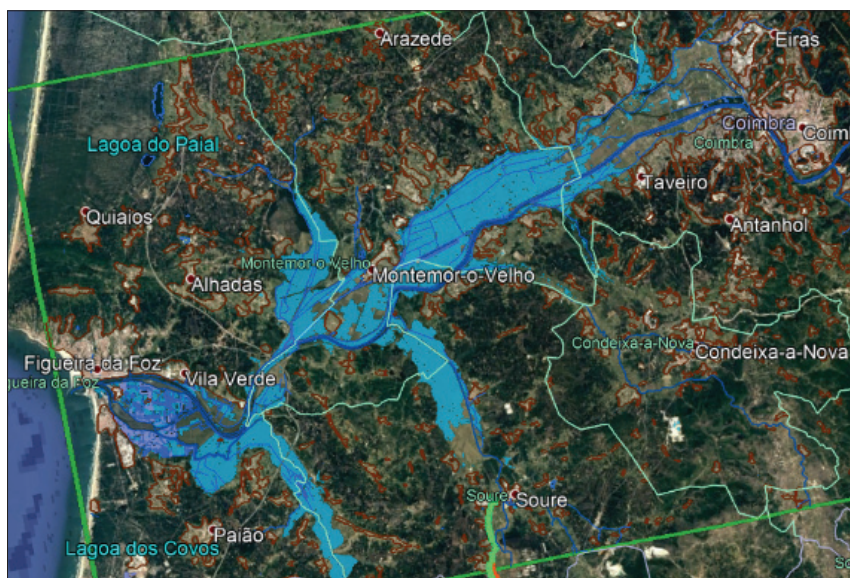


Fig. 1 - Situação da inundação em 23 de dezembro de 2019, Coimbra, Portugal (Imagem Satélite Copernicus (EU)).

Fig. 1 - situation on 23 December 2019, Coimbra, Portugal (Copernicus (US) Satellite Image).

As áreas do Baixo Mondego consideradas como objeto de estudo são as zonas ribeirinhas dos municípios de Coimbra, Figueira da Foz, Montemor-o-Velho e Soure que ao longo do tempo foram sucessivamente afetadas por cheias e inundações que provocaram sérios prejuízos às populações em termos de vidas humanas e de afetação da atividade agrícola. Segundo Rebelo (2005):

“[...] uma ou outra vez [...] a enchente transformava-se em cheia e a água transbordava. Quase uma vez em cada década a cheia era catastrófica, correspondendo a uma crise de maiores ou menores dimensões e de consequências muito variadas no espaço e no tempo” (Rebelo, 2005).

Hoje, tal como no passado, apesar da tranquilidade, aparente, provocada pela regularização do Rio Mondego, subsiste a necessidade de aprofundar a proteção destes espaços que desde há muito procuraram soluções para a minimização dos prejuízos das inundações. Contudo, na verdade, como refere Rebelo (2008):

“[...]o tão procurado domínio do Mondego pelo Homem nunca foi além de uma vitória passageira. O inverno de 2000/2001, com as cheias e inundações que provocou, dezanove anos depois da entrada em funcionamento da Barragem Aguieira, pode bem considerar-se a prova que faltava” (Rebelo, 2008),

A mitigação do risco de cheias e inundações

A mitigação do risco é um conjunto de atividades estratégicas decisivas para a eliminação ou redução de perdas humanas, económicas, patrimoniais e ambientais capazes de melhorar a sustentabilidade do desenvolvimento e a resiliência dos territórios. Estas ações são divididas em dois grupos: *medidas estruturais* e *medidas não-estruturais*. As primeiras dizem respeito a obras de engenharia (diques, barragens, etc.) enquanto as segundas destinam-se, fundamentalmente, a modificar o comportamento humano e são tão diversas como a sensibilização e formação da população para um maior conhecimento do risco, legislação, códigos e regulamentos urbanísticos para uso do solo e procedimentos de planeamento da resposta à emergência.

Medidas estruturais

Para fazer face à ocorrência de cheias e inundações que frequentemente afetavam a cidade de Coimbra e provocavam graves prejuízos às populações ribeirinhas até à Figueira da Foz, o Aproveitamento Hidráulico do Rio Mondego veio regularizar as cheias através da construção das barragens da Aguieira e Raiva (rio Mondego) e de Fronhas (rio Alva). Este aproveitamento, de fins múltiplos, teve como objetivo o controlo da natureza rebelde do Mondego e dos seus afluentes e, também, a produção de energia, a regularização fluvial, correção torrencial, controlo e defesa contra cheias, regadio e abastecimento de água às populações. (DGRN, 1962).

O projeto previa, igualmente, obras de regularização fluvial do Baixo Mondego, medida estrutural que tinham como objetivo a criação de leitos estáveis capazes de garantir o escoamento dos caudais sem provocar a inundação dos campos marginais (DGRN, 1988). Este sistema de leitos é constituído pelo leito central, constituído por diques de proteção longitudinal, e pelos leitos periféricos, que ladeando os campos marginais do rio recebem os caudais dos afluentes a jusante de Coimbra.

Pareciam estar reunidas as condições para reduzir a probabilidade de cheias e inundações no Mondego e o seu assoreamento, sendo de constatar que o comportamento das obras foi o previsto nas primeiras duas décadas (1980-2000).

Nas duas décadas seguintes, porém, tudo se altera com o colapso dos diques de proteção nas cheias de 2001, 2016 e 2019. De acordo com a opinião de alguns reputados especialistas publicada em vários órgãos de comunicação social, nacionais e regionais, são apontadas algumas causas para estes eventos, como a alteração do regime de caudais, falta de monitorização dos caudais do Ceira, Ega e Arunca, obras inacabadas, deficiente manutenção e exploração do sistema, propondo-se, ainda, a construção de uma nova barragem no Mondego como única forma de mitigar os efeitos nefastos de cheias e inundações em Coimbra e no Baixo Mondego.

Ou seja, acrescentamos nós, para além desta proposta estrutural defendida há muito pelos especialistas, importa encontrar o equilíbrio entre os vários interesses na gestão dos caudais da Aguieira, que se desejam complementares, ou seja, compatibilizar aqueles que asseguram o desenvolvimento económico e social e os que concorrem para a proteção e segurança das populações, sendo certo que nos

termos do *princípio da prioridade* definido na lei de bases do setor se prevê que “*deve ser dada prevalência à prossecução do interesse público relativo à proteção civil [...] sempre que estejam em causa ponderações de interesses entre si conflitantes*” (fot. 1).



Fot. 1 - Pormenor de descarga da Barragem Aguieira (Fonte: CDOS de Coimbra, 2019).
Photo 1 - Detail of the Aguieira Dam discharge (Source: CDOS Coimbra, 2019).

Após os eventos de seca registados em 2005, a Eletricidade de Portugal (EDP) adequou as regras de exploração das barragens de modo a garantir água suficiente no verão e o controlo de cheias no inverno, implementando um modo de *gestão adaptativa* para os períodos compreendidos entre 15 de outubro e 15 de março e de 15 de março a 15 de abril.

A análise seguinte assenta, essencialmente, nos pressupostos para a gestão da Aguieira, infraestrutura fundamental para regularização dos caudais de ponta de cheia e gestão das mesmas.

Tomando como referência o recente episódio hidrometeorológico de dezembro último, podemos afirmar que foram quatro dias de intensa preocupação, com momentos de elevada tensão operacional motivada pela incerteza dos resultados da elevada precipitação e rápido enchimento das albufeiras e das consequências dos crescentes caudais para o Baixo Mondego. A dificuldade de gerir e liderar na incerteza é que tornou a situação complexa, podendo estar no horizonte, na nossa

perspetiva, um acidente grave de consequências imprevisíveis. O problema residiu na incapacidade de encaixe do sistema Aguieira/Raiva /Fronhas, o que nos leva a crer que será necessário uma nova adequação ou *gestão adaptativa* dos níveis de defesa contra cheias.

Verificamos na tabela seguinte que em dois dias de precipitação a cota da albufeira da Aguieira subiu 7,33 m e que os caudais afluentes à albufeira tiveram um adicional de mais 1000 m³/s. No dia 21 de dezembro, por exemplo, o Açude Ponte de Coimbra registou um *Caudal Máximo Instantâneo* (QMI) de 2182,7 m³/s e houve a primeira rutura do dique na margem direita junto à pista de remo de Montemor-o-Velho (TABLE I).

TABELA I - Elementos hidrológicos na barragem da Aguieira, níveis de montante, percentagem de enchimento e caudais no período de 18 a 22 de dezembro de 2019.

TABLE I - Hydrological elements in the Aguieira dam, upstream levels, percentage of filling and flows in the period from 18 to 22 December 2019.

Data (09h00)	Cota da albufeira (m)	Diferença de altura dia <i>t</i> -1	Enchimento Da albufeira %	Caudal Afluyente (m ³ /s)	Caudal Efluyente (m ³ /s)
18 dez	117,52	-	69,36	205,83	450,44
19 dez	116,26	-1,26	65,23	374,99	464,85
20 dez	119,24	2,98	75,47	1231,29	477,00
21 dez	123,59	4,35	93,43	1374,78	633,82
22 dez	123,94	0,35	95,03	624,03	898,70

Ou seja, a *gestão adaptativa* seguida pela EDP carece, na nossa opinião, de uma reformulação que ajuste uma maior capacidade de encaixe nas barragens, particularmente na Aguieira, para o período histórico de maior probabilidade de eventos excecionais (dezembro a fevereiro).

Este ajuste para o dia *t* permitiria com base em fatores meteorológicos como a precipitação acumulada verificada na semana anterior e as previsões de valores de precipitação para os 3 dias subsequentes, bem como os caudais verificados nas bacias não regularizadas (rio Ceira, bacia intermédia e ribeira de Mortágua) reduzir em 2 m o NDC para os 115.00 m.

As regras de exploração estabelecem para a Agueira uma cota de NDC de 117,00 m e a de NDO os 125,00 m. São 8 metros de diferencial de altura e de capacidade de encaixe para gerir em pouco mais de 24 horas, tal como verificámos nos dados anteriores para o período de 18 a 22 de dezembro de 2019. Quanto ao enchimento da albufeira, em valor percentual, dia 18 para dia 19 esta desceu cerca 4 % em 24 horas, em concordância com as regras estabelecidas. De dia 19 para dia 20 subiu mais de 10% em 24 horas. De dia 20 para dia 21 subiu 18 % em 24 horas e de dia 21 para dia 22 de dezembro desceu apenas 1,6%, já em descompressão do pico de severidade e ainda com afluições na ordem dos 624 m³/s.

O nosso propósito (Proposta 1) é adicionar um novo intervalo de tempo que vai de 1 de dezembro até final de fevereiro. O objetivo desta proposta, baseada na evidência demonstrada em 2016 e em 2019 e da enorme dificuldade e angústia vivida na gestão da crise no pouco tempo disponível, é garantir antecipadamente maior encaixe das barragens o volume reservado para amortecimento de cheias, não comprometendo a necessidade de reserva de água para o verão. As afluições à grande barragem foram enormes e verificamos que há vantagem em incrementar o número de dias com caudais mais elevados no Açude Ponte de Coimbra na ordem dos 800-1000 m³/s, aumentando a capacidade de encaixe da Agueira (NDC= 115,00m), ao invés de podermos vir a ter outro evento na ordem dos 2000 m³/s. Esta condição provocaria alguns constrangimentos com pequenas inundações marginais em Coimbra, sem colocar em causa a segurança estrutural dos diques do Baixo Mondego.

Proposta 1 – Redução do nível de defesa de cheias (NDC) da Barragem da Agueira da cota 117,00 para a cota 115,00 durante o período historicamente vulnerável.

Esta nossa proposta de ajuste de níveis carece de validação e modelação em estudos apurados de hidráulica e hidrodinâmica e de ser submetida a aprovação pelas entidades competentes e de acordo com a legislação em vigor (TABELA II).

TABELA II - Níveis máximos de exploração das barragens (Aguieira) para uma gestão adaptativa atual e nova proposta.

TABLE II - Maximum levels of exploitation of dams (Aguieira) for current adaptive management and new proposal.

Caudal afluente médio do dia t (m³/s)	Nível atual a atingir na albufeira (m) (15Out-15Abr)	Nível proposto atingir na albufeira (m) (15 Out a 31Nov e de 01Mar a 15Abr)	Nível proposto atingir na albufeira (m) (1Dez-Final Fev)
0-50	121.00	121.00	119.00
50-100	119.00	119.00	117.00
Superior a 100	117.00	117.00	115.00

Medidas não-estruturais

Ordenamento do território

A redução do risco de inundação está intrinsecamente ligada com o ordenamento do território, pelo menos é esse o sentido de todas as políticas públicas de gestão territorial. Ou seja, um adequado uso e ocupação do solo das zonas ribeirinhas constitui uma forma eficaz de reduzir o risco de inundação, através da concretização de medidas não-estruturais que vão desde o zonamento de risco – delimitação das áreas inundáveis - e regulamentação específica para essas áreas.

Sobre este assunto, observemos a opinião de Silva; D. S. (in Público 2020) quando refere que “[...] *à época das cheias de 2000-2001 havia um claro défice de integração de medidas de mitigação do risco na política do ordenamento do território dos municípios do Baixo Mondego. As áreas classificadas como zona inundável nos IGT eram minimalistas e não coincidentes quando se transitava de um município para o outro. As cheias ocorridas extravasavam os limites da área inundável em muitos pontos do vale [...]*” realçando-se, assim, a importância de uma maior concretização na delimitação da área inundável nos instrumentos de gestão territorial, designadamente as áreas que integram a Reserva Ecológica Nacional (REN), que devem ser posteriormente transpostas para os instrumentos de planeamento de emergência de proteção civil.

Neste contexto, o nível municipal, como base do sistema de proteção civil, tem um papel fundamental na prevenção e mitigação do risco de inundação,

designadamente no mapeamento da suscetibilidade do risco de inundação que deve constar nos instrumentos de gestão do território e na definição dos usos compatíveis do solo para assim assegurar uma estrutura urbana mais sustentável.

Comunicação do risco: informação, formação e envolvimento das populações

Depois de avaliado, analisado e encontrada a forma de tratamento do risco, as ações seguintes serão as de acompanhar o comportamento da ameaça e a sua evolução no tempo e no espaço (monitorização) e a sua comunicação (risco versus crise).

Comunicar é o processo de troca de mensagens entre seres vivos, é tornar algo comum entre emissor e recetor. Por sua vez, a comunicação do risco é uma parte do processo de gestão do risco e tem como finalidade dar a conhecer as ameaças que potencialmente podem afetar uma determinada comunidade e de uma forma consciente e planeada persuadir os recetores (públicos-alvo) a evidenciarem comportamentos adequados de segurança na iminência ou ocorrência de um determinado evento com potencial para provocar danos.

Assim, de forma a minimizar as consequências de cheias e inundações no Baixo Mondego, em complemento às medidas estruturais existentes e às questões de ordenamento já descritas, as entidades administrativas competentes - câmaras municipais e juntas de freguesia – apoiadas pelos serviços de proteção civil (local e distrital), agentes de proteção civil, organismos técnicos (APA), forças de segurança, etc., devem promover a realização de ações de informação, formação e sensibilização das populações, que suportadas por uma estratégia global de comunicação do risco possam *tocar* os diferentes públicos-alvo e através de dados técnicos (cartas áreas inundáveis, cartas de risco, população residente afetada, instrumentos e mecanismos de monitorização, aviso e alerta, evacuação, encontro e concentração da população ameaçada) aumentar a compreensão e perceção sobre o risco e a sua livre adesão para a importância da adoção de comportamentos adequados de segurança ante a ameaça, de forma a aprender a conviver com a natureza, a respeitá-la e assim tornar a comunidade mais resiliente ao risco de inundação.

De facto, para além *cultura hidráulica* prevalecente na gestão do risco de cheia e inundação e da visão socorrista em detrimento de medidas técnico-administrativas de prevenção e preparação para a emergência, o envolvimento e participação das comunidades locais é vital no processo de gestão do risco. É, pois, fundamental que cada um conheça e perceba o risco que corre, saiba os meios de que dispõe para lhe fazer face e saiba atuar em situação de emergência.

A gestão da crise

Preparação – o planeamento de emergência

Esta problemática requer que todos os agentes de proteção civil e entidades de apoio se preparem para responder organizadamente às situações de emergência. O *estado da arte*, no caso vertente, não é novo. Veja-se, por exemplo, a questão dos incêndios rurais em que um deficiente ordenamento florestal e territorial tem potenciado a gravidade e as consequências das ocorrências, evidenciando, claramente, que a falta de ações de natureza preventiva na fase antes da emergência pode dificultar as operações de todos aqueles que integram os dispositivos de socorro.

Importa, pois, melhorar a preparação de todo o sistema para responder organizadamente a uma situação de emergência no Baixo Mondego provocada por inundações. Esta fase consiste no desenvolvimento de atividades de proteção civil relacionadas com o planeamento de emergência, definição dos níveis de alerta e as conclusões da avaliação de cenários para modelar uma rápida e efetiva resposta, bem como assim a reabilitação da normalidade de vida das populações afetadas.

Assim, um plano especial de emergência de proteção civil para cheias e inundações deve conter a informação técnica de apoio às operações de socorro e salvamento, onde conste a caracterização física e social, caracterização do risco, análise do risco e da vulnerabilidade dos elementos expostos, cenários considerados e estudos hidrológicos, cartografia temática, com as cartas das áreas inundáveis e de risco, estratégias de mitigação do risco, mecanismos de aviso e alerta, localização de pontos de encontro e identificação das *Zonas de Concentração da População* (ZCAP),

bem como assim os meios e recursos ao dispor do dispositivo de resposta são dados fundamentais para o socorro e salvamento.

Recorrendo à linguagem militar, costuma dizer-se que *os planos são as primeiras baixas em combate*, mas como disse Dwight Eisenhower, ... *os planos são inúteis, mas o planeamento é indispensável*. Com efeito, o processo de planeamento ajuda a compreender e interiorizar os cenários possíveis e a balizar, mesmo que mentalmente, as ações a serem desenvolvidas na sequência de um qualquer evento de cheias ou inundações, afigurando-se, igualmente, como fundamental na articulação de todas as entidades e organismos com responsabilidades na prevenção, socorro e salvamento.

Resposta

A resposta tem como prioridade assegurar a minimização de perda de vidas humanas e afetação de bens, infraestruturas, equipamentos e capacidade produtiva. Nesse sentido, a unidade de direção das ações a desenvolver, a coordenação técnica e operacional dos meios e recursos a empenhar decorre de acordo com as orientações previstas no Sistema Integrado de Operações de Proteção e Socorro (Decreto-Lei n.º 134/2006, de 25 de julho, republicado pelo Decreto-Lei n.º 72/2013, de 31 de maio), vulgo SIOPS, ou seja, responder a situações de iminência ou ocorrência de acidente grave ou catástrofe no Baixo Mondego através de um conjunto de estruturas, normas e procedimentos que asseguram que todos os agentes de proteção civil atuam, no plano operacional, articuladamente sob um comando único, sem prejuízo da respetiva dependência hierárquica e funcional.

Na iminência ou ocorrência de um evento de inundações no Baixo Mondego importa, pois, que a resposta seja rápida, organizada, tecnicamente bem realizada e de acordo com os pressupostos previstos no SIOPS e demais orientações contidas em planos, diretivas e programas setorial), sendo fundamental, para além da articulação institucional e comando operacional, o incremento expedito das seguintes ações, decisivas quanto ao sucesso da operação:

- *Previsão, monitorização e alerta* - atividade destinada à monitorização dos níveis de armazenamento das albufeiras, leitura e acompanhamento de

outros dados provenientes de estações hidrométricas e previsão do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) que permitam predizer situações de risco de cheias e inundações. Os *inputs* fornecidos ao Sistema de Vigilância e Alerta de Recursos Hídricos (SVARH) permitem à Agência Portuguesa do Ambiente (APA) produzir os dados aproximados do comportamento da cheia, permitindo que essa informação chegue atempadamente aos agentes de proteção civil para a tomada de decisão e entidades de apoio a envolver na resposta à emergência e elevem o seu estado de prontidão. Refira-se, em abono da verdade, que este alerta se encontra bastante bem desenvolvido e articulado com o CDOS de Coimbra, organismo que o faz seguidamente fluir para o escalão municipal, cabendo a este a sua divulgação local, uma vez que a intervenção inicial cabe prioritariamente às forças e serviços mais próximos do local da ocorrência, sem prejuízo do apoio subsequente por parte do sistema de proteção e socorro;

- *Aviso* - ação que visa dar conhecimento à população da ameaça, informando para a o estado de prontidão/evacuação para as *Zonas de Concentração e Apoio da População* (ZCAP) previamente definidas nos instrumentos de planeamento de emergência.

Proposta 2 – Envio de SMS à população presente em área inundável para estado de preparação (Nível Laranja) ou evacuação (Nível Vermelho).

- *Evacuação* - Movimentação da população para as ZAC;
- *Decisão operacional* - A fim de simplificar e tornar expeditas estas ações, propõe-se a criação de uma matriz de decisão operacional com os procedimentos a desenvolver em caso de emergência e diretamente relacionados com o nível de enchimento da Barragem da Aguieira, dias de precipitação acumulada, previsões de precipitação e a experiência adquirida que permitam guiar os decisores para as respostas operacionais face a situações de cheias ou inundações.

Do histórico dos eventos hidrometeorológicos que exigiram uma resposta de proteção e socorro célere, atempada e preventiva, realçamos os de janeiro de 2001 e de dezembro de 2019 pela sua magnitude e impacto direto nas infraestruturas hidráulicas e na vertente socioeconómica. Foram momentos de tensão que incidiram sobre a análise estratégica operacional e que exigiram elevados níveis de concentração, disciplina, planeamento e inúmeros e permanentes contactos de assessoria técnica e de informação ao nível de coordenação e direção política e institucional.

A análise prospetiva para apoio à decisão é crucial ao desempenho operacional e, para tal, entendemos desenvolver um memorando, adiante designado de *Matriz de Apoio à Decisão Operacional* (MADO), que sistematiza e relembra um conjunto de ações que vão desde o planeamento e monitorização, informação, ao despacho de meios e recursos como fundamentais à organização e eficiência da gestão da ocorrência e de um *Teatro de Operações* (TO).

Proposta 3 – Matriz de apoio à decisão operacional na iminência ou ocorrência hidrometeorológica.

São considerados quatro níveis de risco, Baixo, Moderado, Elevado e Muito Elevado, alicerçados e fundamentados em diferentes pressupostos de monitorização que referenciamos de *Fundamentos de Decisão Operacional* (FDO) e que permitem orientar o decisor a adotar as medidas consideradas mais adequadas, atempadas e articuladas entre todos os intervenientes nas operações de proteção e socorro.

Os fundamentos podem ser considerados cumulativamente e constituem uma base de análise, independentemente dos modelos de previsão e da informação do SVARH, os quais nos obriga a ações de monitorização e permite agilizar determinados procedimentos operacionais de antecipação face a uma eventual ocorrência hidrometeorológica excecional. Reforçamos que esta matriz se adequa para o período mais crítico ou *historicamente vulnerável* que decorre entre dezembro a fevereiro e que é constantemente avaliada, não descorando e tendo como base a necessidade de garantir a quantidade de água suficiente para os usos do Baixo

Mondego e indústria durante o verão. Perante o potencial agravamento das condições de estado de tempo e das previsões de que possam ocorrer eventuais efeitos hidrológicos e/ou de movimentos em massa, o quadro seguinte orienta e sistematiza as necessárias ações a desenvolver (TABELA II).

TABELA III - Matriz de Apoio à Decisão Operacional (MADO).

TABLE III - Operational Decision Support Matrix (MADO).

FDO	Baixo	Moderado	Elevado	Muito Elevado
Caudais no Açude Ponte de Coimbra (1)	<600 m ³ /s	> 600 m ³ /s < 800 m ³ /s	> 800 m ³ /s < 1200 m ³ /s	> 1200 m ³ /s
Caudais afluentes à Barragem Aguieira	<50 m ³ /s	<100 m ³ /s a 450 < m ³ /s (2)	> 450 m ³ /s < 600 m ³ /s	> 600 m ³ /s
Estado da Barragem Aguieira – NDC	115.00 m	117.00 m	119.00 m	124.50 m
Estado da Barragem Fronhas - NDC	120.00 m	121.00 m	122.00 m	123.00 m
Dias de Precipitação acumulada (fig. 3)	Não	3 Dias	5 Dias	7 Dias
Caudais das bacias não regularizadas (3)	<100 m ³ /s	100 m ³ /s a 300 m ³ /s	300 m ³ /s a 600m ³ /s	> 600 m ³ /s
Previsões meteorológicas para 3 dias (4)	Precipitação Aguaceiros	Precipitação fraca	Precipitação intensa com aviso meteorológico.	Precipitação intensa e duradoura c/ aviso meteorológico.
Queda de neve na Serra da estrela (5)	Sim	Sim	Não	Não

- (1) Valor de referência dos níveis de alerta segundo o Plano Especial de Operações para Cheias no Distrito de Coimbra (2005).
- (2) 450m³ /s é o caudal lançado pelos grupos da barragem inscrito nas regras de exploração da EDP.
- (3) Caudais verificados pela diferença entre os caudais efluentes medidos no Açude Ponte de Coimbra e os da Raiva e Fronhas.
- (4) Previsões a 3 dias apresentam um maior rigor de previsibilidade.
- (5) A queda de neve nas cabeceiras da bacia hidrográfica, em particular na serra da Estrela, constitui uma reserva de água que vai sendo libertada paulatinamente sem acréscimos acentuados de caudais afluentes imediatos às barragens.

Ações a desenvolver no Risco Baixo
• Monitorização de todas as informações, inclusive as provenientes do SVARH; • Reunir o CCOD de acordo com a probabilidade e gravidade do evento; • Acompanhamento permanente da situação; • Notificar o sistema de proteção civil distrital; • Analisar os constrangimentos que possam ocorrer no âmbito das operações de socorro e da necessidade de reforço dos meios e recursos, bem como das áreas mais afetadas e que carecem de ação prioritária.
Ações a desenvolver no risco moderado
• Analisar os constrangimentos previsíveis (reforço de meios, áreas afetadas prioritárias...); • Avaliar eventuais fragilidades em infraestruturas hidráulicas do Baixo Mondego; • Adequar antecipadamente reforço do dispositivo em função do EAE do SIOPS; • Informar estruturas de coordenação institucional e política; • Preparar ações de socorro às populações potencialmente afetadas; • Propor o acionamento de planos de emergência; • Aviso às populações; • Informar por SMS o Grupo Mondego (forças e serviços de intervenção).
Ações a desenvolver no risco elevado
• Monitorização, em articulação com a APA e EDP os níveis críticos de caudais afluentes às barragens e os caudais do Açude de Ponte; • Ativação da CDPC • SMS à população para <i>estado de prontidão</i>; • Articulação permanente com os SMPC • Avaliação de necessidades.
Ações a desenvolver no risco muito elevado
• Propor ao nível local a evacuação da população potencialmente afetada; • Envio de SMS à população para evacuação para as ZCAP; • Garantir o reforço de despacho de meios considerados necessários; • Garantir o apoio logístico.

Conclusão

O risco de inundações é o que ocorre com mais frequência em todo o mundo, com consequências negativas significativamente importantes em termos de perdas de vidas humanas e impactes na atividade socioeconómica, projetando-se, ainda, o aumento dos valores extremos de precipitação como consequência das alterações climáticas e por conseguinte da sua severidade.

Existem evidências na literatura destes eventos na cidade de Coimbra e em todo o vale a jusante e do desejo antigo de dominar a *natureza rebelde do Mondego*. A construção de barragens a montante para produção de energia e controlo de cheias e as intervenções para regularização fluvial do leito central através da construção de diques foram uma tentativa para responder aos anseios das populações. Refira-se em abono da verdade que essa tranquilidade foi garantida durante cerca de duas décadas de anos.

As cheias e inundações de 2001, 2016 e, principalmente, de 2019 vieram demonstrar, contudo, que *o tão procurado domínio do Mondego pelo Homem nunca foi além de uma vitória passageira*. De facto, as medidas estruturais introduzidas – construção de barragens para controlo de cheias e diques para a regularização fluvial – revelaram-se insuficientes para a resolução do problema, afigurando-se necessário complementá-las com medidas não-estruturais ao nível do ordenamento do território, informação, formação e sensibilização das populações para o seu envolvimento em todo o processo e introduzir novos mecanismos na proteção e prevenção de inundações no domínio do aviso, alerta, evacuação e gestão da emergência, contribuindo, assim, para a *construção* de comunidades mais resilientes ao risco de inundações.

É certo que o sistema hidráulico implementado se tem revelado importante no controlo de cheias. Os eventos referidos vieram demonstrar que o risco nulo é um objetivo utópico, que a destruição/reconstrução frequente das infraestruturas se pode tornar financeiramente inoportuna para o erário público, havendo, pois, necessidade de revisitar o projeto hidráulico e incrementar a abordagem não-estrutural no domínio da perceção do risco, uso e ocupação do solo em áreas inundáveis, resistência dos materiais ou mesmo deslocalização de populações.

Do ponto de vista da resposta de proteção civil e tendo em conta o histórico das ocorrências e a experiência adquirida na coordenação e comando das operações, particularmente nos eventos de 2016 e 2019, propõe-se:

- Uma nova abordagem nos níveis de defesa contra cheias da albufeira da Aguieira em situações de previsão de eventos excecionais e períodos prolongados de pluviosidade (Proposta 1);
- Novos mecanismos de aviso, alerta e evacuação assentes em mensagens de telemóvel (Proposta 2);
- Matriz de decisão operacional que enquadra um conjunto de orientações fundamentais à gestão da emergência (Proposta 3).

Em suma, ao longo do presente artigo quisemos dar uma perspetiva da afetação dos eventos hidrológicos nas populações ribeirinhas do Baixo Mondego, apresentando um conjunto de propostas que resultaram da nossa experiência no decurso da gestão da emergência enquanto comandante distrital da proteção civil.

Um dos objetivos e domínios de atuação da atividade da proteção civil é a avaliação de riscos e vulnerabilidades e a sua evolução no tempo e no espaço. Assim, se o problema é diferente, as soluções não podem ser exatamente as mesmas do passado. No entanto, as propostas aqui preconizadas são apenas mais um passo no caminho a percorrer. É importante, pois, que em termos de trabalhos futuros possam ser desenvolvidas novas linhas de conhecimento para apoio das populações e entidades e organismos que concorrem para a segurança de pessoas e bens. Por exemplo, do ponto de vista científico e técnico será fundamental a validação da proposta 1 - redução do nível de defesa contra cheias da cota 117,00 para a cota 115,00 (ou outra) durante o período historicamente vulnerável e promover a articulação efetiva das diferentes cartografias das áreas inundáveis no Baixo Mondego, de modo a delimitar uma nova cartografia para o pior cenário de rutura de diques em diferentes segmentos ou blocos hidráulicos. Esta cartografia é fundamental para o planeamento de emergência de proteção civil e consequente mais-valia no apoio à decisão operacional.

Referências bibliográficas

Documentos e relatórios:

EDP (2007). Regras de exploração das barragens de Agueira/Raiva/Fronhas durante o período de cheias (15 de Outubro a 15 de abril).

Jornais:

Afonso, A. S. (2020). *Concretização do projeto de Girabolhos seria estruturante*. Publicado no Diário das Beiras em 28 de dezembro;

Marques, A. S. (2020). Ordem dos Engenheiros. *Sem barragem será muito difícil travar as cheias no Mondego*. Publicado em www.rr.sapo.pt. Lusa 27 de dezembro;

Silva D. S. (2020). *Que política para a gestão do risco de cheia para o Mondego?* Artigo de Opinião; SILVA. Publicado no jornal Público em 18 de janeiro;

Notícias de Coimbra de 13 de agosto de 2020; Título: *Coimbra precisará de uma grande barragem para controlar o volume de água do Mondego*, conclui estudo da Universidade de Trás os Montes e Alto Douro;

Publicações:

Almeida, A. B. (2011). *Gestão da Água, Incertezas e Riscos – Conceptualização Operacional*. Lisboa: Esfera da Caos Editores, setembro;

APA (2015). *Plano de Gestão dos Riscos de inundações; Região Hidrográfica 4 - Vouga, Mondego e Lis Zonas Críticas: Coimbra*, Estuário do Mondego, Águeda, Ria de Aveiro e Pombal, Dezembro 2015. URL: https://apambiente.pt/_zdata/Politicas/Agua/PlaneamentoGestao/PGRI/PGRI_ParticipaoPublica/PGRI_RH4A.pdf (acedido em 20 de julho de 2020).

CDOS DE COIMBRA (2016). *Manual de procedimentos de emergência e instruções de coordenação para situações hidrológicas e meteorológicas adversas*, Documento reservado interno do Comando Distrital de Operações de Socorro de Coimbra da ANEPC, Coimbra.

CDOS DE COIMBRA (2005). *Plano Especial de Operações para Cheias no Distrito de Coimbra*; Centro Distrital de Operações de Socorro de Coimbra do Serviço Nacional de Bombeiros e Proteção Civil, Coimbra.

Cruz, C., Lourenço, L. (2016). A Inundação de 31 de janeiro de 2015 na bacia inferior do rio Ceira. Contributo para o conhecimento dos riscos e importância da informação para a gestão da emergência. *Revista Territorium* n.º 23, 171-190; Coimbra.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_23_14

DGRN (1988). *Aproveitamento Hidráulico do Vale do Mondego*. Direcção-Geral dos Recursos Naturais, Ministério do Planeamento e Administração do Território, 1988.

- Lourenço, L. (2007). Riscos Naturais, Antrópicos e Mistos. Coimbra: *Revista Territorium*, n.º 14, Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Coimbra.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_14_11
- Louro, S e Lourenço, L. (2005). O comportamento hidrológico do Rio Mondego perante os valores de precipitação intensa, *Revista Territorium* n.º 12, em Coimbra.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_12_3
- Rebelo, F. (1997). Risco e crise nas inundações rápidas em espaço urbano. Alguns exemplos portugueses analisados a diferentes escalas. *Territorium*, n.º 4, Coimbra.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_4_4
- Rebelo, F. (2012). *Rio Mondego e Coimbra: uma longa e ambivalente ligação*. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Instituto de Historia Económica e Social – *Revista Portuguesa de História*, n.º 43. Acedido em 16 de julho de 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.14195/0870-4147_43_7

**INVESTIMENTOS DO POSEUR NA REDUÇÃO DE
RISCOS DE CHEIAS E INUNDAÇÕES.
“O EXEMPLO DO BAIXO MONDEGO”**
**POSEUR'S INVESTMENTS IN REDUCING FLOOD
AND FLOOD RISKS.
"THE EXAMPLE OF LOWER MONDEGO"**

José Marques Guedes

PO SEUR-Programa Operacional Sustentabilidade e
Eficiência no Uso de Recursos (Portugal)

jose.guedes@poseur.portugal2020.pt

Resumo: Apoios financeiros concedidos pelo POSEUR (Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos) através do Fundo de Coesão para financiamento de projetos que visam a redução do risco de Cheias e Inundações, com especial incidência nos localizados na Bacia Hidrográfica do Mondego.

Palavras-chave: Apoios financeiros, POSEUR, cheias, inundações, rio Mondego.

Abstract: Financial support granted by POSEUR (Sustainability and Efficiency in the Use of Resources Operational Program) through the Cohesion Fund to finance projects aimed at reducing the risk of floods, with special focus on those located in the Mondego River Basin

Keywords: Financial support, POSEUR, floods, fluvial floods, Mondego river.

Introdução

Com este texto pretendo transpor da forma mais fiel possível, o sentido geral da minha intervenção e apresentação de suporte na Mesa Redonda realizada no *XIV Encontro Nacional de Riscos*, subordinado ao tema, “*Investimento do POSEUR na Redução de Riscos de Cheias e Inundações. O Exemplo do Baixo Mondego*”, e que incidiu, apenas, no financiamento comunitário a projetos com o objetivo de *Redução de Riscos de Cheias e Inundações*, com especial destaque para os investimentos aprovados na Bacia Hidrográfica do Mondego, que são precisamente os de maior dimensão no Programa Operacional (fig. 1).



Fig. 1 - Pormenor da intervenção no XIV Encontro Nacional de Riscos.

Fig. 1 - Detail of presentation at the 14th National Meeting on Risks.

Analisar os financiamentos comunitários atribuídos a intervenções estruturais, de natureza não recorrente, para a desobstrução, regularização fluvial e controlo de cheias em zonas de inundações e de danos elevados, como medidas preventivas de futuros eventos tendencialmente mais frequentes e de maior intensidade, é o principal objetivo.

Desde logo, importa sublinhar que as funções da Autoridade de Gestão (AG) do POSEUR são essencialmente de gestão de fundos comunitários. A AG não é uma

estrutura especializada em políticas sectoriais, não se pronunciando, portanto, sobre questões de natureza técnica que possam surgir no decurso da sua atuação.

Sempre que as matérias o justifiquem, procuramos estabelecer parcerias, protocolos e outras formas de cooperação com as entidades sectoriais competentes, de modo a que a AG possa desempenhar cabalmente a sua missão (*na área em apreciação, de Controlo de Riscos de Cheias e Inundações, a nossa referência é a APA – Agência Portuguesa do Ambiente*).

Nota Genérica sobre o financiamento comunitário

Começo por sublinhar a relevância da solidariedade dos países da União Europeia que nas últimas décadas, através dos fundos europeus estruturais e de investimento, têm contribuído de forma muito significativa para o desenvolvimento de Portugal e para a coesão das suas regiões, bem como para a evolução positiva da qualidade de vida da população portuguesa nos últimos anos que se deve também, em muita larga medida, ao facto de estarmos integrados no espaço europeu.

Nota sobre o enquadramento dos apoios financeiros concedidos pelo POSEUR

No Portugal2020, o POSEUR é o Programa Temático da Sustentabilidade, com aplicação em todo o território nacional, Continente e Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores.

É financiado pelo Fundo de Coesão, dispondo presentemente de uma dotação financeira de 2,2 mil milhões de euros.

Acrescento que na área ambiental, os Programas Operacionais Regionais (POR) também financiam projetos através do FEDER, se bem que as tipologias sejam diferentes das elegíveis no POSEUR.

O Programa Operacional organiza-se em torno de 3 Eixos prioritários com as seguintes dotações financeiras (fig. 2):



Fig. 2 - POSEUR: Dotações financeiras de alguns eixos.

Fig. 2 - POSEUR: Financial allocations for some areas.

- Eixo 1 – Eficiência Energética e Mobilidade, 737 M€;
- Eixo 2 – Adaptação às Alterações Climáticas e Gestão e Prevenção de Riscos, **28 M€**;
- Eixo 3 – Proteger o Ambiente, 993 M€;
- Eixo 4 – Assistência Técnica (interno) 045 M€.

Para abordar o tema proposto ao POSEUR para esta Mesa Redonda, vou fixar-me no Eixo 2, “*Promover a Adaptação às Alterações Climáticas e a Gestão e Prevenção de Riscos*”.

Todo o conjunto das áreas de intervenção que compõem o Eixo 2 visa uma resposta global a riscos resultantes de fenómenos climáticos excecionais potenciados pelas alterações climáticas: cheias e inundações, incêndios florestais, erosão costeira, derrocadas e outras catástrofes.

Sistematizando, as Prioridades de Investimento são,

- *Adaptação às Alterações Climáticas,*
- *Erosão Costeira,*
- *Incêndios Florestais e Redes de Defesa da Floresta contra Incêndios,*
- *Protecção contra Riscos de Cheias e Inundações, e*
- *Acidentes graves (p.e., derrocadas), Instrumentos de Planeamento e Ações Inovadoras.*

Acrescento que as dotações financeiras mencionadas no dispositivo são meramente indicativas; ou seja, podem ser alteradas ao longo do Quadro Financeiro Plurianual ou ajustadas à medida das necessidades pelas autoridades nacionais, com contrapartidas dentro do próprio Eixo II.

Interessa-nos sobretudo a PI *Prevenção e Gestão de Riscos de Cheias e Inundações*, cujas regras de aplicação são detalhadas na *Secção 12 do Regulamento Específico* (Portaria n.º 332/2018, de 24 de Dezembro) sob a designação de “*Adaptação às Alterações Climáticas e Prevenção e Gestão de Riscos*” (fig. 3).

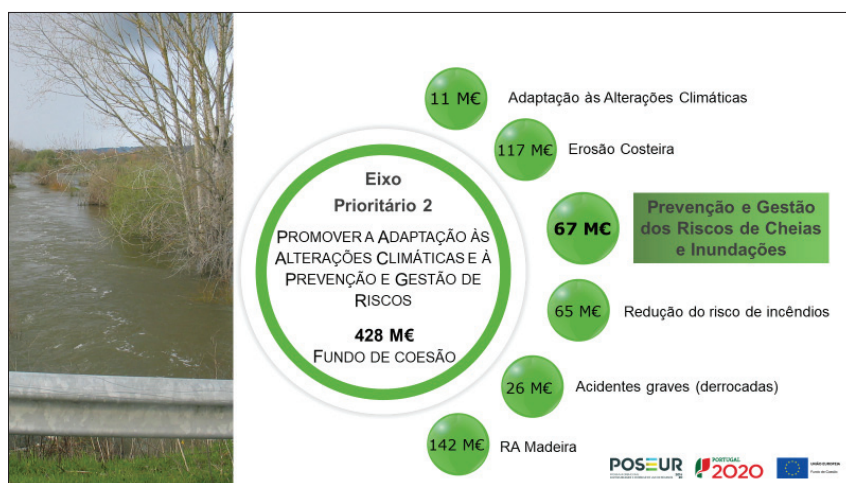


Fig. 3 - POSEUR: Eixo 2, de adaptação às alterações climáticas e à prevenção e gestão de riscos.

Fig. 3 - POSEUR: Area 2, adaptation to climate change and risk prevention and management.

Realço que o Regulamento Específico é, de facto, o instrumento legal por excelência, que especifica e detalha as «condições» em que o Fundo de Coesão pode ser atribuído para financiamento de projetos, baseado sempre, nas disposições de carácter mais genérico que constam do texto do Programa Operacional.

A imagem anterior retrata as atuais dotações financeiras de cada PI do Eixo II que, nesta fase, já se situam num nível de compromisso muito próximo de 100 %.

No caso do domínio *Prevenção contra Riscos de Cheias e Inundações* o Fundo de Coesão afeto a operações no território continental é de 67,0 M€ a que acresce o financiamento destinado a projetos desenvolvidos na RAM (92,7 M€).

O elevado montante de Fundo de Coesão para as intervenções que visam a redução de cheias e inundações na RAM resulta do grau de risco existente na Madeira, confirmados por estudos e planos que decorreram das graves inundações de 2010.

Critérios Específicos de Elegibilidade das Operações

As operações apoiadas pelo POSEUR no domínio *Prevenção e Gestão de Riscos de Cheias e Inundações* deverão cumprir os seguintes critérios específicos de elegibilidade:

- Localizadas em territórios identificados no *sistema WISE* (*existem 22 zonas críticas assinaladas de inundações frequentes e danos elevados*), abrangendo também, as áreas de impacto direto a montante e a jusante dessas zonas,
- As medidas concretas que constam dos projetos dos promotores deverão ter enquadramento no *PGRI – Plano de Gestão de Risco de Inundações*,
- Obtenção de parecer favorável da APA, na qualidade de autoridade nacional sectorial.

Cabe igualmente à APA, a gestão, atualização e revisão dos dois instrumentos anteriormente indicados (fig. 4).

As entidades beneficiárias das operações financiadas pelo Fundo de Coesão poderão ser a própria APA, os Municípios e as suas associações (CIM e Áreas Metropolitanas).

Uma nota adicional para esclarecer que os apoios concedidos pelo POSEUR não são direcionados para ações de gestão corrente. Refiro este aspeto pois habitualmente suscita alguma controvérsia entre a Autoridade de Gestão e os beneficiários/promotores das operações, visto que nem sempre é fácil estabelecer uma fronteira clara entre intervenções consideradas estruturais e as de manutenção.



Fig. 4 - POSEUR: Critérios de elegibilidade das operações financeiras.

Fig. 4 - POSEUR: Eligibility criteria for financial transactions.

Ponto de situação sobre o Fundo de Coesão atribuído a projetos de Prevenção e Gestão de Riscos de Cheias e Inundações

Feito o enquadramento das dotações financeiras, passo a referir com maior detalhe o que foi realizado pelo POSEUR até agora, tendo presente que informar os cidadãos e prestar contas sobre a aplicação dos FEEI – Fundos Europeus Estruturais e de Investimento, *é um dos deveres das Autoridades de Gestão.*

Neste contexto apresento o quadro resumo das subvenções financeiras atribuídas a operações localizadas no território do Continente (fig. 5):

- 28 operações aprovadas resultantes de 4 avisos para apresentação de candidaturas,
- Os projetos aprovados representam um Investimento Total superior a 82,4 M€, com Fundo de Coesão de 66,8 M€,
- Os financiamentos são concretizados através subvenções não reembolsáveis com uma taxa base de 85 % sobre as despesas elegíveis,

PONTO DE SITUAÇÃO – PREVENÇÃO DE CHEIAS E INUNDAÇÕES			
TIPOLOGIA DE INTERVENÇÃO	INVESTIMENTO TOTAL	FUNDO APROVADO	Nº DE OPERAÇÕES APROVADAS
Intervenções estruturais de desobstrução, regularização fluvial e controlo de cheias , em zonas de inundações frequentes e danos elevados	81,3 M€	65,9 M€	27
Intervenções de modernização do Sistema de Vigilância e Alerta de Recursos Hídricos (SVARH)	1,1 M€	0,9 M€	1
	82,4 M€	66,8 M€	28

Fig. 5 - POSEUR: Ponto de situação dos projetos aprovados para prevenção de cheias e de inundações.

Fig. 5 - POSEUR: Current status of projects approved for flood and fluvial flood prevention.

- *No final do 1.º semestre de 2021*, a execução financeira desse conjunto de projetos é baixa, ronda 47 %, e inclusivamente, compara mal com a taxa de execução do Eixo II que se situa em 71 %,
- Pode concluir-se que os projetos financiados não estão a avançar no terreno com o ritmo desejável, e inicialmente previsto,
- Das 28 operações aprovadas, *7 encontram-se em situação irregular (3 das quais situadas na região do Baixo Mondego)*. Operações que não têm ou a execução é ainda muito reduzida, inferior a 10 % nos 12 meses seguintes à assinatura dos Termos de Aceitação,
- À luz da regulamentação aplicável, os apoios comunitários concedidos a esses projetos poderão vir a ser revogados, caso a situação não evolua favoravelmente no futuro próximo.

Existe, de facto, um risco sério de que os contratos de financiamento sejam revogados por incumprimento de execução, sendo de admitir que seja necessário cancelar o financiamento de operações que não evidenciem viabilidade de conclusão até ao final do Quadro Financeiro Plurianual 2014-2020, não podendo, portanto, permanecer no PO.

É o caso de operações aprovadas pela Autoridade de Gestão há mais de um ano, sem que ainda tenha sido lançado o procedimento para a componente de maior relevância e em que o respetivo cronograma de execução não evidencia que seja viável a conclusão do projeto até ao final do 1.º semestre de 2023.

Trata-se sem dúvida, de uma medida de gestão extrema, gravosa e não desejável pela AG, mas que se justifica, pois, estamos muito perto da fase de encerramento do Quadro Financeiro Plurianual 2014-2020, sendo que o objetivo da AG POSEUR é, naturalmente, de que *não fique por aplicar qualquer valor/montante do financiamento comunitário sob gestão*.

Concluo que o panorama atual das operações financiadas visando a Prevenção e Gestão de Riscos de Cheias e Inundações não é muito animador e, nestas circunstâncias, torna-se difícil fazer um exercício de avaliação consistente e favorável sobre os resultados alcançados.

Objetivos a alcançar

Os contratos de financiamento com os promotores estabelecem *resultados a alcançar* com a realização dos projetos, sendo que as metas fixadas decorrem das respetivas candidaturas; ou seja,

- *A aprovação das candidaturas implica a contratualização das metas propostas,*
- *O modelo de governação do PT2020 prevê a aplicação de penalizações financeiras caso no final da execução do projeto, os resultados sejam inferiores ao contratado.*

Globalmente o conjunto das 28 operações aprovadas representa uma área superior a *100.000 ha* com redução e/ou eliminação do nível de risco de cheias e inundações, intervenções em *350 kms* de leitos de água e perto de *1,5 M pessoas* a beneficiarem de medidas de proteção adicionais (fig. 6).

Uma referência também para os indicadores relacionados com o *SVARH (Sistema de Vigilância e Alerta de Recursos Hídricos)*,

- Trata-se de um investimento operacionalizado pela APA, destinado a melhorar a eficácia dos alertas de cheias transmitidos através dos equipamentos instalados, contribuindo assim, para aumentar os níveis de proteção das populações mais expostas a inundações;



Fig. 6 - POSEUR: Indicadores aprovados.

Fig. 6 - POSEUR: Approved indicators.

- O investimento inclui a instalação de novos equipamentos e a modernização dos já existentes na rede (17 equipamentos nas 5 NUTS II) visando igualmente, a redução de falsos alertas;
- Investimento total = 1,1 M€; FC = 0,9 M€.

Avisos lançados

Entrando em matérias mais específicas na perspetiva do financiamento comunitário, o POSEUR lançou 4 avisos, convites (2) e concursos (2) (fig. 7):

- *1.º aviso-convite em 2015 dirigido à CIM da Região Aveiro para o Baixo Vouga Lagunar,*
- *2 avisos-concursos em 2016 e 2017 que permitiram a aprovação de 25 candidaturas em todo o território continental, e*
- *1 aviso-convite em Fevereiro de 2020, direcionado para a APA, na sequência das cheias do Rio Mondego de Dezembro de 2019, que resultaram na rutura de diques e consequentes inundações em especial na zona de Montemor-o-Velho; decorre da aprovação do Plano de Ação “Mondego Mais Seguro”, aprovado pela RCM n.º 2-A/2020, de 3 de Fevereiro.*



Fig. 7 - POSEUR: Avisos lançados.

Fig. 7 - POSEUR: Notices posted.

Continente: implantação territorial – Bacias Hidrográficas

Distribuição das operações aprovadas pelo POSEUR pelas diversas *Bacias Hidrográficas* (Norte, Centro, LVT e Algarve), com indicação dos montantes envolvidos (fig. 8).

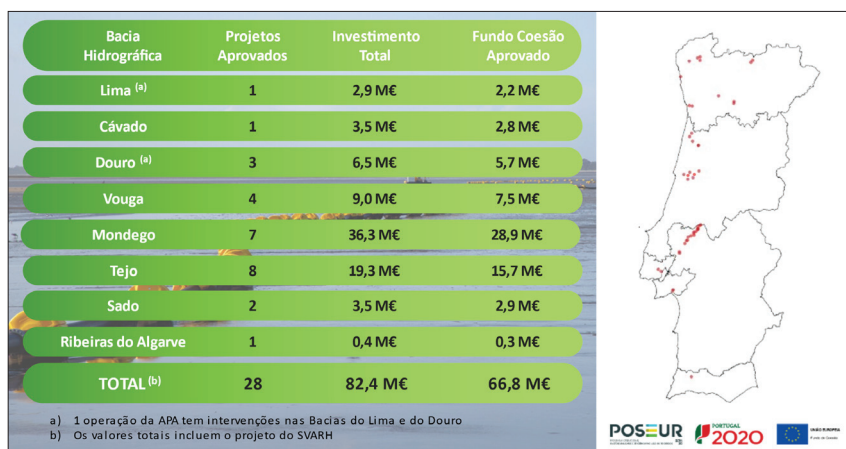


Fig. 8 - POSEUR: Operações aprovadas, por Bacias Hidrográficas.

Fig. 8 - POSEUR: Approved Operations, for Hydrographic Basins.

A análise deste quadro mostra a relevância dos apoios atribuídos a projetos localizados na Bacia do Mondego no que respeita ao montante dos investimentos e dos financiamentos concedidos através do Fundo de Coesão.

Um parêntesis para assinalar que, por exemplo, nas Bacias do Tejo e do Vouga predominam intervenções de reconstrução de diques e comportas; na Bacia do Mondego, na zona da cidade de Coimbra, têm especial importância as intervenções de desassoreamento.

No conjunto das 28 operações há também outro tipo de intervenções,

- Limpeza de leitos e margens (vegetação e/ou materiais),
- Ações para redução da impermeabilização de solos através da rearboreização das margens em zonas críticas, etc.

Projetos aprovados na Bacia Hidrográfica do Mondego

Mapeamento das operações na Região Centro

Identificação de 11 operações financiadas pelo POSEUR na Região Centro (fig. 9):

- 4 na Bacia do Vouga – zonas de Aveiro e de Águeda, e
- 7 na sub-região “Baixo Mondego”.



Fig. 9 - POSEUR: Localização das operações financiadas na região Centro.

Fig. 9 - POSEUR: Location of financed operations in the Centro Region.

Listagem das operações aprovadas na Região Centro

O quadro seguinte identifica os promotores dos investimentos financiados e montantes aprovados (fig. 10).

PROJETOS APROVADOS – REGIÃO CENTRO				
BACIA HIDROGRÁFICA	PROJETO	BENEFICIÁRIO	INVESTIMENTO TOTAL	FUNDO APROVADO
VOUGA	 Baixo Vouga Lagunar - Infraestruturas Hidráulicas do Sistema de Defesa Contra Cheias e Marés-Rio Velho e Rio Novo do Príncipe	Comunidade Intermunicipal da Região de Aveiro	4,6 M€	4,0 M€
	 Mitigação dos Efeitos das Cheias em Águeda	Município de Águeda	1,1 M€	1,0 M€
	 Intervenções Estruturais e Controlo de Cheias nos rios Vouga e Antuã	Comunidade Intermunicipal da Região de Aveiro	1,2 M€	0,9 M€
	 Intervenções Estruturais para o Controlo de Cheias em Águeda	Município de Águeda	2,1 M€	1,6 M€
MONDEGO	 Desassoreamento da Albufeira do Açude-Ponte de Coimbra e Estabilização da margem direita do Rio Mondego entre a Ponte Santa Clara e o Açude	Município de Coimbra	12,0 M€	11,2 M€
	 Intervenções no Aproveitamento Hidráulico do Mondego	Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.	4,3 M€	3,6 M€
	 Regularização do Rio Arunca	Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.	7,6 M€	5,7 M€
	 Intervenções no Leito Abandonado do Rio Mondego	Município de Montemor-o-Velho	0,4 M€	0,3 M€
	 Intervenção no Rio Ega a Montante da Ponte de Casével até à Ponte da Ega	Município de Condeixa-a-Nova	0,1 M€	0,07 M€
	 Aproveitamento Hidráulico do Mondego – Regularização do Rio Pranto	Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.	7,9 M€	5,9 M€
	 Intervenções Mondego Mais Seguro – Leito Central do Mondego e Leito Periférico Direito	Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.	4,0 M€	3,0 M€
  			45,3 M€	36,3 M€

Fig. 10 - POSEUR: Projetos aprovados na Região Centro.

Fig. 10 - POSEUR: Projects approved in the Centro Region.

No que respeita ao *Baixo Mondego*, são 7 as operações financiadas, que representam um *Investimento total superior a 36 M€ e Fundo de Coesão de cerca de 29 M€*.

Os promotores são a APA (4 operações) e os Municípios de Coimbra, Montemor-o-Velho e de Condeixa-a-Nova.

A execução física e financeira das 7 operações localizadas no *Baixo Mondego* decorre a ritmos muito diferenciados (*variando entre 0%, projetos ainda não iniciadas e 100%, projetos concluídos fisicamente*).

Neste momento importa assinalar que existem 3 projetos promovidos pela APA com atrasos significativos, situação que naturalmente preocupa a Autoridade de Gestão enquanto entidade responsável pela gestão dos financiamentos comunitários.

- *Regularização Rio Arunca com execução residual (0,5 %);*
- *Aproveitamento Hidráulico do Mondego - Regularização Rio Pranto peração ainda não iniciada;*
- *Intervenções Mondego Mais Seguro - Leito Central do Mondego e Leito Periférico Direito operação ainda não iniciada.*

Relativamente a estas 3 operações, o Fundo de Coesão comprometido é de cerca de 15 M€; ou seja, um valor superior a 22 % da totalidade da dotação financeira da PI – Prevenção contra Riscos de Cheias e Inundações (67 M€).

Constata-se que o arranque efetivo das operações no terreno é extremamente demorado, sendo necessário realizar previamente, um conjunto muito vasto de procedimentos que nem sempre, são controláveis pelos promotores no que respeita a prazos (*projetos, elaboração dos cadernos de encargos, contratação pública, obtenção de visto do Tribunal de Contas, autorizações várias do Ministério das Finanças, etc.*).

Dou alguns exemplos,

- O projeto para *Regularização do Rio Arunca* foi aprovado em Dezembro de 2017 e, chegados a Julho de 2021, a execução é apenas residual (0,5%),
- Os dois últimos projetos referenciados no quadro foram aprovados pela AG POSEUR no final do 1.º semestre de 2020 (há cerca de 1 ano, portanto), na sequência das inundações de Dezembro de 2019 e ainda não estão em fase de execução no terreno.

À Autoridade de Gestão do POSEUR compete monitorizar, sinalizar as situações e alertar as autoridades nacionais e os promotores para os riscos de “**incumprimento**” e consequências que daí possam advir, como aliás, tem sido efetuado com regularidade.

Baixo Mondego: resultados das operações aprovadas

Pressupondo a efetiva execução de todas as intervenções e ações incluídas nos 7 projetos localizados no *Baixo Mondego*, os resultados a alcançar serão (fig. 11):

- Território superior a 75.000 *ha* com intervenções para redução de Riscos de Cheias e Inundações,
- População de cerca de *meio milhão de pessoas* cuja proteção é melhorada, e
- Perto de 190 *kms* de leitos de água intervencionados.



Fig. 11 - POSEUR: Resultados dos indicadores aprovados para o Baixo Mondego.

Fig. 11 - POSEUR: Results of the approved indicators for Baixo Mondego.

Conclusão

Apesar da elevada dimensão dos apoios aprovados pelo POSEUR para financiamento de projetos no Baixo Mondego (Fundo de Coesão superior a 29 milhões de euros), nesta fase verificam-se atrasos na execução física e financeira das operações que podem comprometer a efetiva conclusão no atual período de programação dos fundos comunitários que decorre até final de 2023.

Bibliografia

Acordo de Parceria Portugal 2020, disponível em:

<https://poseur.portugal2020.pt/media/42110/20140730-acordo-parceria-ue.pdf>

Regulamento Específico POSEUR - Documentos | PO SEUR, disponível em:

<https://poseur.portugal2020.pt/media/3697/regulamento-espec%C3%ADfico-po-seur.pdf>

**PROJETAR O FUTURO REVIVENDO ACONTECIMENTOS
PASSADOS: AS CHEIAS DE 2001 NO RIO MONDEGO E
NA QUEDA DA PONTE HINTZE RIBEIRO,
NO RIO DOURO**

**DESIGNING THE FUTURE REMEMBERING PAST
EVENTS: THE MONDEGO 2001 RIVER FLOODS
AND THE HINZE RIBEIRO BRIDGE COLLAPSE
IN THE RIVER DOURO**

José Simão Antunes do Carmo

Universidade de Coimbra

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Dep. de Engenharia Civil (Portugal)

ORCID: 0000-0002-5527-3116 jsacarmo@dec.uc.pt

Resumo: A gestão das infraestruturas do Aproveitamento Hidroelétrico do Mondego revelou-se ineficaz para conter os longos períodos de chuva contínua que ocorreram no ano hidrológico de 2000/2001, tendo a cidade de Coimbra e a planície do Baixo Mondego sido fortemente afetadas. No dia 27 de janeiro de 2001 a capacidade máxima da albufeira da Aguieira esteve próxima de ser atingida, colocando a barragem em risco de rotura. No mesmo ano hidrológico ocorreu o colapso da ponte Hintze Ribeiro, em Entre-os-Rios, provocando a morte de 59 pessoas que viajavam num autocarro e em três automóveis que caíram ao rio Douro).

Palavras-chave: Cheias, Mondego, Aguieira, Douro, Hintze Ribeiro.

Abstract: The management of the infrastructure of the Mondego Hydroelectric Plant Development proved to be ineffective at coping with the long periods of continuous rain that occurred in the 2000/2001 hydrological year, with the city of Coimbra and the Lower Mondego alluvial plain being severely affected. On 27 January 2001, the maximum capacity of the Aguieira dam was close to being reached, putting the dam at risk of failure. In the same hydrological year, the Hintze Ribeiro bridge in Entre-os-Rios collapsed, causing the death of 59 people travelling in a bus and in three cars that fell into the River Douro.

Keywords: Floods, Mondego, Aguieira, Douro, Hintze Ribeiro.

Introdução, as cheias do rio Mondego em 2001

Em Portugal, o ano hidrológico de 2000/2001 foi caracterizado por longos períodos de chuva contínua e intensa, particularmente entre novembro de 2000 e março de 2001. Em dezembro de 2000 e janeiro de 2001, a cidade de Coimbra e a planície do Baixo Mondego foram profundamente afetadas pelas cheias do rio Mondego. Nesse período registaram-se três grandes cheias, todas com valores de caudais máximos afluentes a Coimbra superiores a 1600 m³/s.

A primeira ponta de cheia aconteceu no início de dezembro de 2000, tendo a cota de armazenamento da barragem da Aguieira alcançado valores muito elevados. Coimbra registou um caudal afluente de 1613 m³/s e a água galgou as margens da albufeira do Açude-Ponte. Na mesma data, o rio Ceira, afluente a montante de Coimbra, transbordou as margens com um caudal intenso e rico de sedimentos em suspensão; já a jusante da cidade, o nível da água ultrapassou em cerca de 20 cm o dique esquerdo do canal principal (Cunha, 2002).

À semelhança da primeira ocorrência, a segunda ponta de cheia foi registada entre 5 e 6 de janeiro de 2001, com um caudal de 1625 m³/s em Coimbra. No entanto, foi na terceira ponta de cheia, registada em finais do mês de janeiro, entre os dias 26 e 29, que foi atingido o maior caudal e também o mais destrutivo (fig. 1).

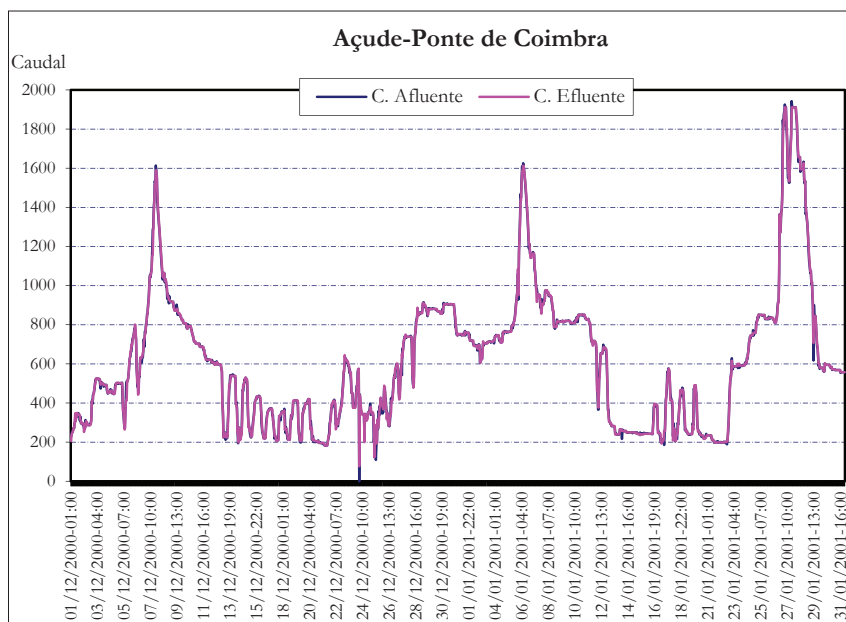


Fig. 1 - Caudais afluentes/efluentes ao/do Açude-Ponte de Coimbra entre 1 de dezembro de 2000 e 31 de janeiro de 2001.

Fig. 1 – Influent/effluent flows to/from the Coimbra Ponte-Açude [Bridge-Weir] between 1 December 2000 and 31 January 2001.

No dia 27 de janeiro de 2001, foi registado um caudal de $1942 \text{ m}^3/\text{s}$ no Açude-Ponte. Este caudal resultou da soma dos caudais descarregados pelas barragens da Aguieira e das Fronhas e do caudal do rio Ceira, não regularizado. A capacidade total da barragem da Aguieira esteve muito próxima de ser atingida, colocando em risco de rotura a própria infraestrutura (Cunha, 2002; Antunes do Carmo, 2017).

As sucessivas pontas de cheia causaram inúmeros estragos, tanto em Coimbra como no Baixo Mondego. A zona ribeirinha da cidade de Coimbra ficou inundada (fot. 1). A jusante, os diques do canal principal do rio romperam em 14 secções diferentes, causando o alagamento brusco e violento dos campos agrícolas numa grande extensão (fot. 2). A aldeia de Ereira ficou totalmente rodeada de água (Cunha, 2002; Antunes do Carmo, 2004).

Recordando Fernando Rebelo, “as cheias são fenómenos hidrológicos resultantes de precipitações elevadas e de certas características das bacias hidrográficas. No caso em



Fot. 1 - Vista a partir da margem esquerda do rio Mondego, na manhã do dia 28 de janeiro de 2001, em Coimbra (Fonte: Pina *et al.*, 2010; Freire, 2021).

Photo 1 - View from the left bank of the River Mondego on the morning of 28 January 2001, in Coimbra (Source: Pina *et al.*, 2010; Freire, 2021).



Fot. 2 - Vista panorâmica da rotura do dique direito do canal principal (Baixo Mondego), junto a Santo Varão (Fonte: Cunha, 2002; Antunes do Carmo, 2004, 2017).

Photo 2 - Panoramic view of the main channel right embankment (Baixo Mondego), near Santo Varão (Source: Cunha, 2002; Antunes do Carmo, 2004, 2017).

estudo, são particularmente importantes várias características da bacia hidrográfica do Mondego, algumas naturais, outras induzidas pelo Homem” (Rebello, 2010).

Como fator natural propício à ocorrência de cheias na bacia hidrográfica do Mondego destaca-se a hidrografia do curso de água principal e dos seus afluentes, Alva e Ceira. As propriedades torrenciais destes afluentes evidenciam-se pela transição brusca do escoamento superficial entre encostas íngremes e rochosas que aceleram o escoamento, características do trecho fluvial a montante de Coimbra. Uma extensa planície aluvionar descreve o trecho final do rio Mondego a partir de Coimbra (LNEC, 2012; Costa, 2013).

Por outro lado, como fatores antrópicos, apontam-se as queimadas e incêndios florestais, que aumentam a quantidade de material sólido a ser escoado, reduzem a capacidade de armazenamento de água nas barragens e diques, e aumentam o escoamento superficial. A regularização do rio Mondego induziu a sensação de segurança nas populações que vivem na planície aluvionar. Em consequência, aumentou a vulnerabilidade dessas populações a eventos de cheias, como as ocorridas no inverno de 2000/2001. Os acontecimentos vividos naquela época apenas comprovaram que as urbanizações situadas em leitos de cheia comportam riscos acrescidos para a segurança das pessoas e bens aí instalados.

Regularizar os caudais fluviais através da inserção de uma barragem no leito do rio causa grandes alterações na dinâmica fluvial, principalmente a jusante. O modelo de gestão das descargas de uma barragem, e a sua adaptação aos caudais sazonais, pode ter impacto direto com profundas alterações a jusante. Assim, a operação deste tipo de estruturas requer uma adequada coordenação entre as entidades responsáveis pela sua gestão, uma vez que qualquer erro pode dar origem a graves consequências em todo o vale a jusante da barragem (Antunes do Carmo, 2017).

A menos correta gestão da barragem da Aguieira, de modo a privilegiar a produção de energia hidroelétrica, não deixando suficiente capacidade de encaixe para eventos de cheia, foi uma das causas apontadas para justificar o caudal afluente a Coimbra no dia 27 de janeiro de 2001. Com efeito, após a conclusão da barragem da Aguieira, em 1979, a cota de exploração subiu dos 112.5 m previstos em projeto para os 116 m por razões de produção de energia hidroelétrica e captação de água para abastecimento público; ou seja, retirou-se folga de segurança contra cheias (Cunha, 2002).

No entanto, importa sublinhar a importância da barragem da Agueira no controlo de cheias. Como é referido no Relatório do ex-INAG (atual APA) sobre a hidrologia das cheias do Mondego de 2001, a ausência de qualquer infraestrutura de controlo de cheias a montante teria resultado num caudal de 2800 m³/s no Açude-Ponte, em vez dos 1942 m³/s registados (Rodrigues *et al.*, 2001).

Durante eventos de cheia, a quantidade de material sólido transportado pelo escoamento é muito elevada. Deste modo, as cheias de 2000/2001 favoreceram o transporte de sedimentos a jusante da barragem da Agueira até à albufeira do Açude-Ponte, onde muitos sedimentos ficaram retidos, embora a abertura total das comportas do açude tenha permitido a passagem de alguns sedimentos para jusante.

A deposição de sedimentos no canal principal do rio Mondego, a jusante de Coimbra, terá diminuído a capacidade máxima de escoamento para a qual o projeto apontava, pois a rotura dos diques do canal principal deu-se com caudais inferiores aos definidos em projeto. Terão igualmente contribuído para as ocorrências verificadas, a possível degradação dos diques longitudinais, devido à exposição a caudais elevados durante longos períodos e a falta de manutenção adequada das infraestruturas hidráulicas (Cunha, 2002; Antunes do Carmo, 2004).

Por outro lado, a retenção de sedimentos causada pelo Açude-Ponte tem tendência a agravar o processo de erosão a jusante, uma vez que não há a natural reposição sedimentar ao longo do leito. Um estudo elaborado pelo LNEC sobre as inundações do rio Mondego refere que o levantamento batimétrico do rio Mondego efetuado no trecho a jusante do Açude-Ponte em 2004/2005 revelou a “*existência de erosões localizadas acentuadas a jusante das discontinuidades do leito*” e recomenda vivamente o acompanhamento das alterações morfológicas nos trechos do rio em causa (LNEC, 2012). Por outro lado, foram também assinalados bancos de areia resultantes de acumulações de sedimentos em diversos locais ao longo do canal principal, como mostra a fot. 3.

Com o objetivo de repor o equilíbrio natural do sistema fluvial, diminuindo as possíveis consequências negativas decorrentes de alterações realizadas no leito do rio, deve garantir-se que os sedimentos acumulados sejam dragados, ou repostos em locais apropriados (zonas do leito tendencialmente erosivas). Neste sentido, destaca-se a importância de serem efetuados levantamentos topográficos regulares, de modo a acompanhar a evolução morfológica do fundo aluvionar.



Fot. 3 - Baixo Mondego: Assoreamento do leito do canal principal.

Photo 3 - Baixo Mondego: Siltation of the main channel bed.

São vários os ensinamentos a colher das cheias do rio Mondego em 2001. Entre eles ressalta a necessidade de implementar um modelo de gestão e assegurar a manutenção eficaz do conjunto de estruturas de regularização do Mondego, a par de um ordenamento do território que não permita a ocupação dos leitos de cheia e da planície aluvionar para fins urbanos, industriais ou outros com carácter de permanência, dada a natural suscetibilidade destes empreendimentos a inundações.

Recomenda-se a conclusão das obras do Aproveitamento Hidráulico da Bacia do Mondego tal como projetadas, incluindo a regularização dos afluentes, de que se destacam o rio Ceira, a montante de Coimbra, e os rios Ega e Arunca no Baixo Mondego. É igualmente importante assegurar o cumprimento rigoroso do protocolo operacional do grupo de barragens Aguieira-Raiva e Fronhas.

Recomenda-se ainda que seja equacionada uma possível solução para a contenção dos sedimentos que afluem à albufeira do Açude-Ponte, a qual poderá passar pela construção de uma Bacia de Sedimentação a montante de Coimbra.

A queda da ponte Hintze Ribeiro, em Entre-os-Rios

A ponte Hintze Ribeiro, também conhecida por ponte de Entre-os-Rios, foi construída sobre o rio Douro, entre 1884 e 1886, para unir a aldeia de Entre-os-Rios a Castelo de Paiva. Situada numa curva do rio Douro, a ponte encontrava-se imediatamente a jusante da afluência do rio Tâmega. A montante do local em

estudo situam-se as barragens do Torrão, no rio Tâmega, e do Carrapateiro, no rio Douro (fot. 4). A jusante, localiza-se a barragem de Crestuma-Lever, sendo que a secção da ponte se encontrava afetada pela respetiva albufeira desde a construção desta barragem.



Fot. 4 - Perspetiva atual da localidade de Entre-os-Rios. A segunda ponte vista nesta perspetiva não existia em 2001. A ponte Hintze Ribeiro estava localizada no mesmo trecho da primeira ponte vista nesta imagem (Pinto, 2014).

***Photo 4** - View of Entre-os-Rios village as it is today. The second bridge seen here did not exist in 2001. The Hintze Ribeiro bridge was located in the same section as the first bridge seen in this picture (Pinto, 2014).*

A estrutura de suporte do tabuleiro da ponte consistia em 6 pilares, dos quais apenas dois se encontravam normalmente expostos ao escoamento (P2 e P3); os pilares P4 e P5 estavam implantados na barra de areia existente à data (fot. 5). Como é referido em Rocha *et al.* (2008), e também pela observação da fot. 5, os pilares P2 e P3 encontravam-se protegidos por enrocamento.

Na fotografia da ponte Hintze Ribeiro (fot. 5), datada de 1931, são claramente visíveis a geometria e forma da secção transversal do leito do rio, com o escoamento a afetar predominantemente os pilares P2 e P3, as proteções destes pilares já então existentes e a barra do intradorso da curva do rio Douro. É também visível que o pilar P4 se encontrava protegido pela barra, onde o nível de areia era semelhante ao do pilar P5.



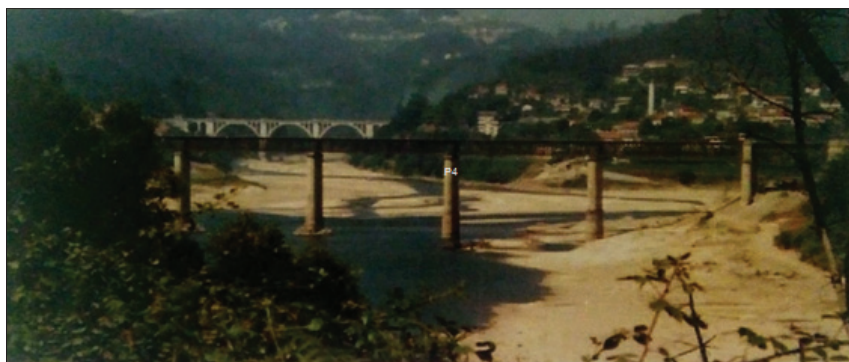
Fot. 5 – Fotografia da ponte Hintze Ribeiro, datada de 1931
(Fonte: Rocha *et al.*, 2008; Antunes do Carmo, 2017).

Photo 5 – *Photo of the Hintze Ribeiro bridge, dated 1931*
(Source: Rocha *et al.*, 2008; Antunes do Carmo, 2017).

Os grandes volumes de areia extraídos fundamentalmente a partir de meados dos anos 70 nas proximidades da ponte, até à formação da albufeira de Crestuma-Lever, e depois em toda a extensão da albufeira, nomeadamente em vários locais a montante da ponte, terão conduzido não só à destruição da zona de assoreamento natural localizada no intradorso da curva (barra), como a um rebaixamento generalizado do leito do rio numa grande extensão da zona de implantação da ponte, por falta de alimentação natural, e à criação de diversos fundões ao longo do rio. Na zona do pilar P4 verificou-se um abaixamento constante do fundo do rio, com cerca de 11.5 m entre 1913 e 1982 e de 1.5 m entre 1982 e 1989 (Rocha *et al.*, 2008). Este abaixamento terá sido fundamentalmente o resultado de extrações de areias, pois trata-se de uma zona de deposição natural, como se comprova pela fotografia de 1931 (fot. 5).

Entre meados da década de 70 e a formação da albufeira de Crestuma-Lever, nos anos 80, foram extraídas grandes quantidades de areia diretamente da barra onde a ponte se encontrava. Após o enchimento da albufeira as extrações de areia continuaram, tendo como justificação o desassoreamento do leito do rio Douro ao longo do trecho

a montante da ponte. Numa fotografia da ponte Hintze Ribeiro obtida no final da década de 70 (fot. 6), antes da construção da barragem de Crestuma-Lever, pode observar-se a irregularidade da barra, a quase inexistência de areia em redor do pilar P4 e a ausência de enrocamento no mesmo pilar (Freire, 2021).



Fot. 6 - Fotografia da ponte Hintze Ribeiro tirada antes da construção da barragem de Crestuma-Lever, no final da década de 70 (Fonte: Teixeira, 2011; Freire, 2021).

Photo 6 - Photo of the Hintze Ribeiro bridge taken in the late 1970s, before the construction of the Crestuma-Lever Dam (Source: Teixeira, 2011; Freire, 2021).

As intervenções de extração de inertes foram de tal dimensão que levaram ao desaparecimento da barra de areia, à redução geral do nível do leito na zona da ponte e à formação de fundões no rio.

As cavidades identificadas a montante e a jusante da ponte, num levantamento do Instituto Hidrográfico realizado em 2001, resultaram da conjugação de diversas causas, nomeadamente das extrações de inertes, da interação do escoamento com os obstáculos rígidos (pilares) e do fenómeno geral de transporte dos sedimentos.

Com efeito, analisando os vários levantamentos topográficos realizados desde o início do século 20 até aos anos 70 é possível concluir que não havia nenhuma cavidade no trecho do rio Douro a montante da ponte de Hintze Ribeiro. Após o incremento da extração de inertes no rio Douro, a partir de meados dos anos 70, a barra foi diminuindo, por extração direta na mesma, tendo praticamente desaparecido em 1982, conforme um levantamento efetuado nesse ano (fig. 2).

As extrações efetuadas a montante da ponte, até cerca de 7 km, criaram grandes fundões, já visíveis no levantamento apresentado na fig. 2, os quais passaram a reter grande parte das areias transportadas. Nesta conformidade, nunca foi reposta a barra que se formava naturalmente na curva do rio Douro onde se situava a ponte Hintze Ribeiro.

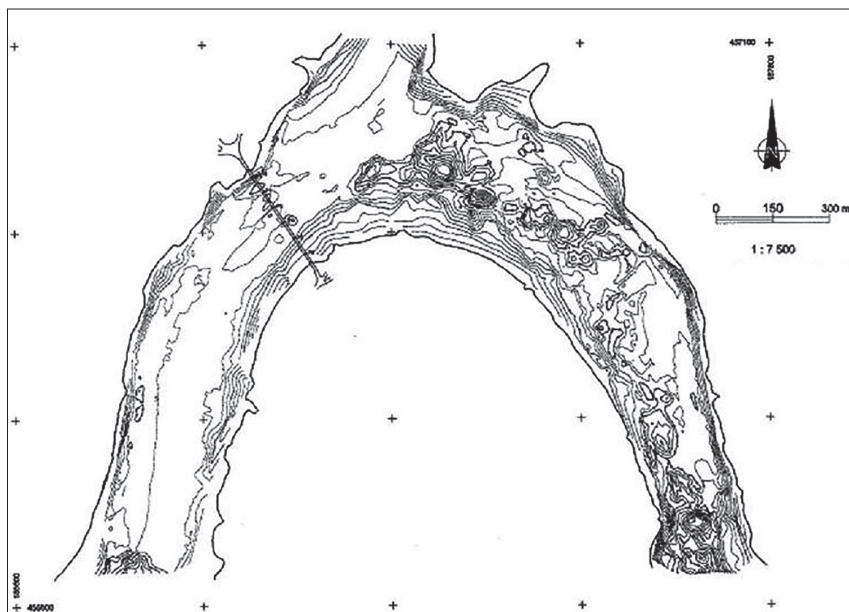


Fig. 2 - Levantamento do rio Douro, em Entre-os-Rios, datado de 1982
(Fonte: Rocha *et al.*, 2008; Antunes do Carmo, 2017).

Fig. 2 - Survey of River Douro at Entre-os-Rios carried out in 1982
(Source: Rocha *et al.*, 2008; Antunes do Carmo, 2017).

Os movimentos do fundo do rio Douro na zona de implantação da ponte Hintze Ribeiro deveram-se a duas causas preponderantes: a extrações de areias e aos movimentos naturais do fundo aluvionar em função das variações dos caudais.

Os sucessivos levantamentos topográficos mostrados na fig. 3 revelam que junto ao pilar P5 houve assoreamento entre 1982 e 2000, provavelmente devido a um acréscimo do aterro (material dragado) junto à margem esquerda do rio. Fora dessa mancha de depósitos predomina uma mancha de erosão que terá atingido

um máximo de 9 m. Atendendo às morfologias do fundo em 1982 e 2000, tendo em conta a forma dessas manchas de erosão e ainda de acordo com elementos constantes na bibliografia consultada, essa mancha de erosão deveu-se a extrações de areias (Rocha *et al.*, 2008).

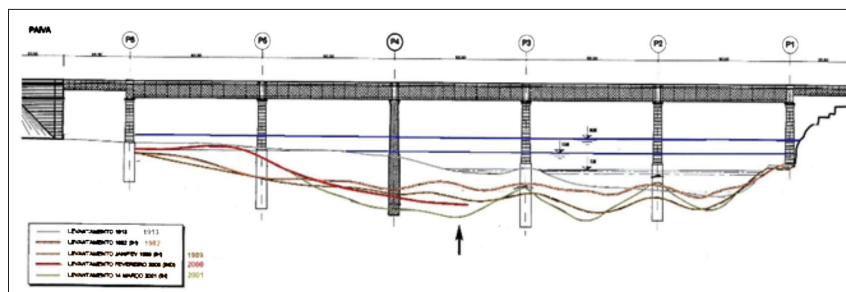


Fig. 3 - Perfis transversais resultantes de levantamentos topográficos efetuados na secção onde se encontrava a ponte Hintze Ribeiro (Fonte: Rocha *et al.*, 2008).

Fig. 3 - Cross sections resulting from topographic surveys carried out on the section where the Hintze Ribeiro bridge was located (Source: Rocha *et al.*, 2008).

O rebaixamento do leito do rio Douro junto à ponte, mais acentuadamente na zona da antiga barra da curva, deveu-se à soma das extrações na barra, anteriores à existência da albufeira, e às extrações a montante impedindo a formação de nova barra. De acordo com os dados das extrações de areias na barra da curva do rio onde se situava a ponte Hintze Ribeiro, estas ter-se-ão intensificado a partir de 1975, quando foram concedidas licenças por 5 anos para extrações de areais ao longo da barra, numa extensão de 1000 m (Rocha *et al.*, 2008).

De igual modo, os dados recolhidos permitem concluir que entre 1913 e 1982 a descida do leito do rio se deveu principalmente a extrações de inertes, pois os fenómenos naturais teriam como resultado a reposição da barra. Nesse período, houve extrações de areias a um ritmo superior à reposição natural de inertes no local.

Entre 1982 e 1989 o leito do rio continuou a descer, em consequência das continuadas extrações de areias no local da barra até ao enchimento da albufeira de Crestuma-Lever, em 1985, e ao longo da albufeira a montante da ponte, posteriormente a essa data. Entre 1989 e 2000 manteve-se o ritmo de extrações de areias a montante, tendo continuado a verificar-se o rebaixamento do leito do rio junto à ponte.

A descida do leito entre 1982 e 2000 verificou-se a uma taxa de 0.17 m ao ano. A descida entre Fevereiro de 2000 e Março de 2001 foi de aproximadamente 4 m; por conseguinte, a uma taxa muito superior à de anos anteriores porque esta descida está associada à ocorrência das cinco cheias sucessivas verificadas em 2001 (fig. 4) (Rocha *et al.*, 2008).

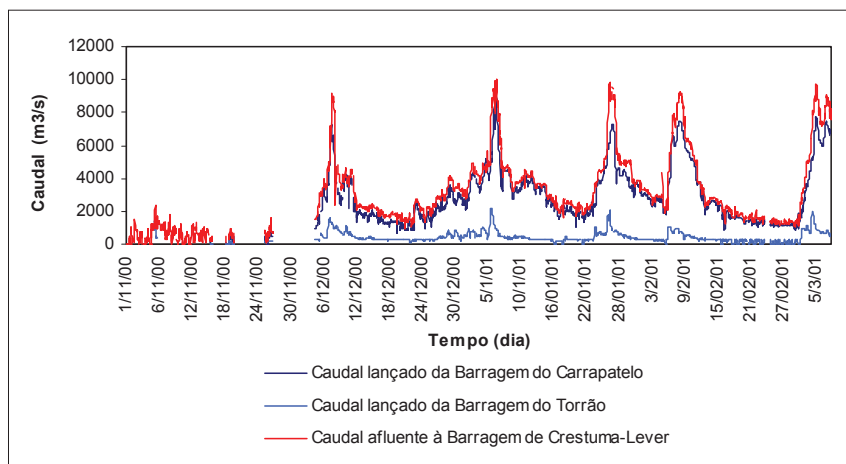


Fig. 4 - Caudais nas barragens do Carrapatelo, Torrão e Crestuma-Lever entre 1/11/2000 e 7/3/2001 (Fonte: Rocha *et al.*, 2008; Antunes do Carmo, 2017).

Fig. 4 - Flows released from the Carrapatelo and Torrão dams and the flow discharged into the Crestuma-Lever reservoir between 1 November 2000 and 7 March 2001
(Source: Rocha *et al.*, 2008; Antunes do Carmo, 2017).

Com base em elementos fornecidos pelo ex-INAG (atual APA) relativamente aos caudais afluentes e lançados nas barragens do Carrapatelo, do Torrão e de Crestuma-Lever, entre 1 de Novembro de 2000 e 7 de Março de 2001, foi possível analisar a evolução dos caudais na secção da ponte Hintze Ribeiro nos dias que antecederam o data do acidente.

A partir do dia 2 de Março de 2001, as barragens do Carrapatelo, Torrão e Crestuma-Lever registaram uma subida rápida dos caudais afluentes, o que se traduziu em idêntico aumento de descarga das barragens (fig. 5). Com efeito, no dia 1 de Março de 2001 os caudais afluentes às barragens do Carrapatelo e do Torrão foram de 1100 m³/s e de 112 m³/s, respetivamente. Estes valores foram rapidamente

ultrapassados, registando-se no final do dia 3 de março de 2001 (23h:00) caudais afluentes à barragem do Carrapateiro de 3960 m³/s e à barragem do Torrão de 760 m³/s. Nesse período, praticamente todo o caudal afluente às barragens do Torrão e do Carrapateiro foi lançado para jusante originando, juntamente com a contribuição do rio Paiva, um caudal afluente à barragem de Crestuma-Lever de 5050 m³/s (3 de Março de 2001 às 23h:00) (fig. 5).

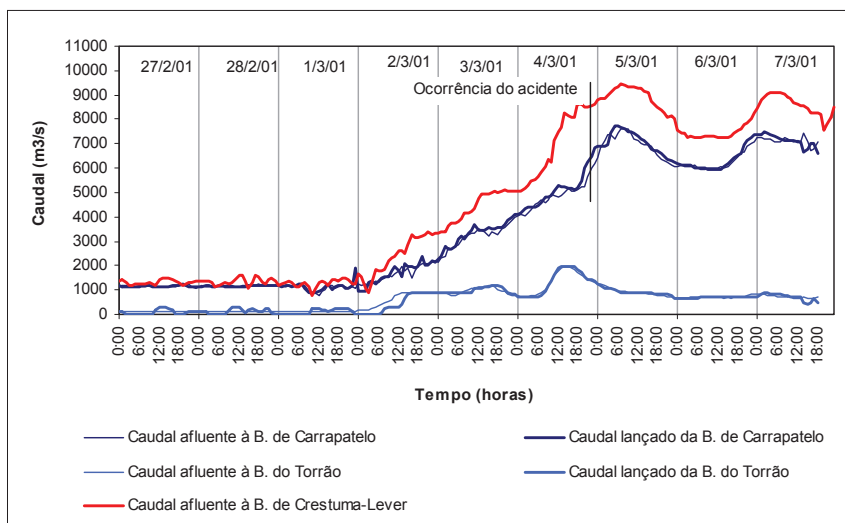


Fig. 5 - Caudais lançados das barragens do Carrapateiro, Torrão e Crestuma-Lever entre os dias 27/2/2001 e 7/3/2001.

Fig. 5 - Flows released from the Carrapateiro, Torrão and Crestuma-Lever dams between 27/2/2001 and 7/3/2001.

No dia 4 de Março de 2001 manteve-se a subida das afluências à barragem do Carrapateiro e verificou-se uma subida muito acentuada das afluências e das descargas na barragem do Torrão. Num período de 6 horas, entre as 8h:00 e as 14h:00, o caudal afluente à barragem do Torrão duplicou atingindo um valor máximo de 2000 m³/s. Este aumento rápido refletiu-se nas afluências à barragem de Crestuma-Lever, que registaram no final do dia um valor de 8823 m³/s.

À hora da queda da ponte Hintze Ribeiro, cerca das 21h:10m do dia 4 de Março de 2001, os caudais lançados pelas barragens do Carrapateiro e do Torrão eram da

ordem de 6222 m³/s e de 1452 m³/s, respetivamente. Estima-se que na secção da ponte Hintze Ribeiro o caudal terá sido da ordem de 8000 m³/s.

Analisando a documentação técnica existente relativamente às inspeções realizadas à ponte ao longo do tempo, como foi anteriormente referido, foi possível constatar que a descida do nível do fundo do rio, junto ao pilar P4, foi de 11.5 m no período de 1913 a 1982, e de 1.5 m entre 1982 e 1989. Tendo em conta que o intradorso da curva do rio Douro onde se situava o pilar P4 é uma zona de assoreamento natural, a diminuição da cota do fundo não traduz esta tendência natural.

Importa sublinhar que as quatro barragens existentes no Douro Nacional a montante da secção da ponte são a fio de água e com alturas reduzidas (Pocinho com 49 m, Valeira com 48 m, Régua com 41 m e Carrapatelo com 57 m), as quais permitem a passagem de sedimentos para jusante. Apenas a barragem de albufeira do Torrão retém a quase totalidade os sedimentos afluentes. Por conseguinte, a contribuição do rio Tâmega, a nível sedimentar, é muito reduzida, não influenciando o transporte sedimentar do rio Douro e, portanto, não afetando o leito do rio Douro na área de implantação da ponte.

As diferenças de cotas registadas até ao ano de 1989, a par dos factos acima mencionados, deveriam ter alertado as entidades responsáveis para a necessidade de avaliar o estado da morfologia do leito do rio a montante da ponte e também para a requalificação dos pilares, adaptando a estrutura às novas condições do leito e do escoamento.

No ano hidrológico de 2000/2001 registaram-se grandes precipitações que originaram várias ondas de cheia em Portugal. Da análise dos caudais instantâneos libertados pelas barragens do Torrão e Carrapatelo, e do caudal afluente à barragem de Crestuma-Lever, verifica-se que a queda da ponte coincidiu com a passagem da 5ª onda de cheia de uma sequência de cheias do rio Douro com início em dezembro de 2000, figs. 4 e 5.

Esta sequência de caudais de cheia registada num período de três meses não terá favorecido a deposição sedimentar necessária para repor as cotas do fundo aluvionar junto à ponte, acabando por propiciar a ocorrência de erosão localizada.

A queda da ponte aconteceu no dia 4 de março de 2001, na sequência do colapso

de um dos pilares. O pilar P4 rodou e tombou para montante, como é comprovado por um levantamento efetuado após o colapso da ponte (fot. 7). Este facto contraria o natural efeito do escoamento, cuja força e momento resultantes apontariam a queda do pilar exatamente no sentido contrário. Tal comportamento só poderá ser explicado devido à ocorrência de infraescavação, que terá sido o processo físico dominante na base de montante do pilar, descalçando-o.



Fot. 7 - Posição final do pilar P4, tombado para montante da secção da ponte.

Photo 7 - Final position of pillar P4, fallen upstream of the bridge section (top-down flow).

Por conseguinte, é possível afirmar que as alterações morfológicas do rio Douro, no trecho da secção da ponte, terão resultado de extrações de areias (principal causa de médio-longo prazo), de erosões gerais resultantes do transporte sedimentar, naturalmente potenciado pelas ondas de cheia, e de erosões localizadas em torno das fundações dos pilares (causas de curto-médio prazo).

É igualmente possível concluir que a estabilidade do pilar que caiu poderia ter sido garantida se este tivesse sido intervencionado com uma solução de proteção contra a erosão localizada. Os pilares P2 e P3 encontravam-se devidamente protegidos com enrocamento, pois estavam mais expostos ao escoamento e foram os mais solicitados durante a vida útil da ponte, resistindo a cheias tão ou mais porolongadas e intensas que as de 2000/2001 (TABELA I).

TABELA I - Duração das cheias com caudais médios diários superiores a 3000 m³/s desde os anos 70 do século passado até 4 de março de 2001.

TABLE I - Duration of floods with average daily flow above 3000 m³/s from the 1970s until 4 March 2001.

Cheia	Número de dias consecutivos em que o caudal médio diário lançado do Carrapatelo igualou ou excedeu 3000 m³/s
1978/1979	14 dias (5 a 18 de fevereiro de 1979)
1989/1990	3 dias (17 a 19 de dezembro de 1989) 4 dias (21 a 24 de dezembro de 1989)
1995/1996	8 dias (5 a 12 de janeiro de 1996) 6 dias (21 a 26 de janeiro de 1996)
1/12/2000 a 4/3/2001	2 dias (7 e 8 de dezembro de 2000) 2 dias (10 e 11 de dezembro de 2000) 14 dias (2 a 15 de janeiro de 2001) 8 dias (25 de janeiro a 1 de fevereiro de 2001) 6 dias (7 a 12 de fevereiro de 2001) 2 dias (3 e 4 de março de 2001)

Fonte/Source: Rocha e Alves, 2002.

Este acidente resultou na morte de 59 pessoas que transitavam sobre a ponte quando se deu o seu colapso. Dos meios intervenientes nas ações de coordenação, busca, resgate e apoio às famílias das vítimas, destacam-se: o Ministério da Administração Interna, a Proteção Civil, os bombeiros das corporações locais, os mergulhadores da Marinha, a Força Aérea, o Serviço Nacional de Bombeiros, a Guarda Nacional Republicana, o Instituto de Medicina Legal e diversos profissionais da Ação Social. Apenas 23 dos corpos foram encontrados, o último em maio de 2011 (Teixeira, 2011).

Uma tragédia com esta dimensão exige que se colham ilações para que não se repitam situações semelhantes no futuro. Assim, é fundamental a adoção de medidas

de mitigação de acidentes em pontes construídas em fundos aluvionares. As medidas podem passar por, na fase de projeto, estimar a profundidade máxima da infraescavação através de previsões e testes em laboratório, na fase de construção recorrer a soluções de proteção, como o exemplo da aplicação de enrocamento em torno dos pilares mais afetados, e, por fim, na fase de operação/utilização, instalar instrumentos de monitorização nas estruturas e realizar regularmente levantamentos batimétricos que permitam acompanhar a evolução morfodinâmica do fundo aluvionar, garantindo uma vigilância contínua (Rocha *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2017).

Conclusões

As cheias do rio Mondego são um problema de cariz cíclico ao longo da sua história. Têm exigido a atenção de investigadores, geólogos e engenheiros na procura das causas e de possíveis soluções. Apesar das obras implementadas para tentar mitigar os efeitos dos eventos de cheia, estes continuam a causar grandes prejuízos na zona ribeirinha da cidade de Coimbra e nos municípios do Baixo Mondego (Freire, 2021). A desadequada gestão do empreendimento e a falta de manutenção das infraestruturas e dos equipamentos de proteção de cheias, a par de períodos de chuvas prolongadas e intensas, são alguns dos fatores apontados para a dimensão dos estragos (Sequeira, 2015; Ordem dos Engenheiros, 2019).

Como ações específicas (em termos de projeto) a desenvolver e implementar para a valorização ambiental e economicamente sustentável do rio Mondego propõem-se (Freire e Antunes do Carmo, 2021):

1. Revisão da capacidade de descarga da barragem da Aguieira, incluindo o protocolo de operação, tendo em conta as alterações dos registos hidrológicos que serviram de base à construção da barragem, bem como outras possíveis alterações que poderão ocorrer em consequência das alterações climáticas em curso;
2. Conclusão das obras do Aproveitamento Hidráulico da Bacia do Mondego tal como projetadas, incluindo a regularização dos afluentes, de que se destacam o rio Ceira, a montante de Coimbra, e os rios Ega e Arunca no Baixo Mondego;

3. Construção de uma Bacia de Sedimentação no rio Mondego, a montante da ponte da Portela, e possivelmente uma segunda bacia de sedimentação no rio Ceira. Os impactos ambientais e os custos de construção e manutenção ao longo da vida útil destas bacias, bem como o formato (geometria) e a capacidade de acumulação de material sólido, são aspetos relevantes a ter em conta no dimensionamento destas infraestruturas, as quais se revelam essenciais para o pleno usufruto da albufeira do Açude-Ponte em Coimbra;
4. Revisão global das infraestruturas do Aproveitamento Hidroelétrico do Mondego, incluindo a possível construção de uma segunda barragem a montante da Aguieira, pois não só a análise hidrológica pode conduzir a resultados diferentes daqueles que serviram de base à construção de todo o empreendimento nas décadas de 1970 e 1980 (que inclui o sistema de barragens da Aguieira, Raiva e Fronhas, o Açude-Ponte de Coimbra e a obra do Baixo Mondego), como é necessário aprender com o comportamento das infraestruturas.

Apesar da complexidade dos fenómenos naturais e antrópicos envolvidos na queda da ponte Hintze Ribeiro, da análise das condições de segurança é possível extrair algumas conclusões; assim, pode afirmar-se que:

- Em 1931, o pilar P4 encontrava-se implantado numa área de assoreamento natural.
- Tanto o pilar P2 como o pilar P3 foram devidamente protegidos por enrocamento antes de 1931;
- O rebaixamento do leito do rio na área do pilar P4 deveu-se principalmente a extrações de areia, por se tratar de uma área de assoreamento natural;
- Os níveis de areia acima da base da fundação do pilar P4, antes das enchentes de 2000-2001, encontravam-se entre 7 e 8 m;
- As descargas da barragem do Torrão não tiveram influência significativa no colapso do pilar P4,
- A queda da ponte ocorreu após cinco cheias consecutivas e intensas, tendo o pilar P4 colapsado devido a continuada erosão localizada;
- O pilar P4 tombou contra a corrente (para montante), o que só seria possível se ocorresse o decalçamento da face de montante da fundação do pilar por infraescavação resultante da continuada erosão localizada;

- O enrocamento colocado nos pilares P2 e P3 evitou que esses pilares desmoronassem nas enchentes de 2000-2001 e em outras enchentes anteriores e igualmente prolongadas e intensas;
- A estabilidade do pilar P4 poderia ter sido garantida se uma solução de proteção idêntica à encontrada nos pilares P2 e P3 tivesse sido implementada.

Em Portugal há registo de vários acidentes em pontes resultantes da exposição das fundações à erosão fluvial. Nas décadas de 70 e 80, os casos mais mediáticos, por terem ocorrido em pontes importantes pelo tráfego, pela localização ou pela sua dimensão, foram o da ponte de Penacova sobre o rio Mondego em 1979 e o da ponte da Foz do rio Alva na década de 80 (Rocha *et al.*, 2008). Ambos os casos ocorreram na sequência de cheias intensas. Por conseguinte, havia conhecimento e informação suficientes para se ter gerido o caso da ponte Hintze Ribeiro com a devida precaução.

O colapso da ponte Hintze Ribeiro é um exemplo concreto de resposta do leito aluvionar a alterações antrópicas, só possíveis por manifesta permissividade, gestão inadequada, negligência e fiscalização inexistente. O fenómeno de erosão localizada em pilares de pontes construídas em fundos aluvionares representa um risco acrescido à segurança da estrutura e dos seus utilizadores. Deste modo, reforça-se a necessidade de estudar e acompanhar as alterações do leito junto aos pilares, mas também ao longo de extensões significativas do rio para montante e para jusante do trecho onde a infraestrutura se encontra implantada.

Bibliografia

- Antunes do Carmo, J. S. (2004). *Modelação em Hidráulica Fluvial e Ambiente*. Imprensa da Universidade de Coimbra. ISBN 972-8704-28-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0364-3>
- Antunes do Carmo, J. S. (2017). Natural responses to changes in morphodynamic processes caused by human action in watercourses : A contribution to support management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 24, 109–118
- Costa, F. S. (2013). O tema das cheias e inundações na obra de Fernando Rebelo. *Riscos Naturais, Antrópicos e Mistos. Homenagem ao Professor Doutor Fernando Rebelo*, 81–87. Departamento de Geografia, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Cunha, P. P. (2002). Vulnerabilidade e risco resultante da ocupação de uma planície aluvial - o exemplo das cheias do rio Mondego (Portugal central), no inverno de 2000/2001. *Territorium*, Issue 9, 13–35. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_9_2

- Freire, D. F. A. (2021). *Os Processos Físicos e as Intervenções Antrópicas em Sistemas Fluviais (Dissertação de Mestrado)*. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Freire, D. F. A. & Antunes do Carmo, J. S. (2021). As cheias do rio Mondego e as soluções que tardam a implementar. In: "*Geografia, Riscos e Proteção Civil. Homenagem ao Professor Doutor Luciano Lourenço*", volume 1, 73-95, RISCOS. URL: https://www.riscos.pt/wp-content/uploads/2018/Outras_Pub/outras/lourenco/volume1/pdf/Livro_HLL092021_volume1_02P1_01.pdf
- LNEC (2012). Relatório sobre *Estudo das inundações do Rio Mondego a jusante da confluência do Rio Ceira*. LNEC, Lisboa.
- ORDEM DOS ENGENHEIROS (2019). Eventos meteorológicos - Bacia do Mondego. Ordem dos Engenheiros (página de internet oficial), setembro de 2020. URL: <https://www.ordemengenheiros.pt/pt/atualidade/noticias/eventos-meteorologicos-infraestruturas-afetadas-bacia-do-mondego/>
- Pina, R. D., Simões, T. M. N., Sá Marques, J. A., Temido, J. L. S. S. & Sousa, J. J. O. (2010). A Gestão dos Sistemas de Drenagem da Cidade de Coimbra - O Plano Geral de Drenagem. Atas do 14º Encontro Nacional de Saneamento Básico Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Pinto, D. F. (2014). A Terceira Dimensão. Blogue in <http://portugalfotografiaaerea.blogspot.pt/2014/07/entre-os-rios.html> 2014 (Acedido em outubro 30, 2020).
- Rebello, F. (2010). *Geografia Física e Riscos Naturais*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra. URL: https://www.uc.pt/fluc/depegeotur/publicacoes/Livros/livro_homenagem_FRebello/
- Rocha, J. S. & Alves, E. (2002). *Plano Específico Preliminar de Extração de Inertes na Albufeira de Crestuma-Lever, Rio Douro*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Trabalho realizado para o Instituto de navegabilidade para o Douro (IND), Relatório 186/02-NHE, julho.
- Rocha, J., Antunes do Carmo, J. S., Lemos, L., Dias da Silva, V. & Rebello, C. (2008). Pontes Construídas Sobre Fundos Aluvionares: O Colapso da Ponte Hintze Ribeiro. Revista *Recursos Hídricos*, Vol. 29, Número 2, 41-57.
- Rodrigues, R., Brandão, C. & Pinto da Costa, J. (2001). *Hidrologia das cheias do Mondego de 26 e 27 de Janeiro de 2001*. Relatório do INAG, Lisboa.
- Sequeira, J. (2015). *Análise Computacional da Evolução da Hidromorfologia do Baixo Mondego em Resultado da Subida do Nível do Mar*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Teixeira, P. (2011). A ponte de Portugal, 1ª ed., *O Gaiense*, 102 p., Vila Nova de Gaia. ISBN 978-972-99629-3-6.
- Wang, C., Yu, X. & Liang, F. (2017). A review of bridge scour: mechanism, estimation, monitoring and countermeasures. *Natural Hazards*, Vol. 87, Issue 3, 1881–1906.

RISCOS DE INUNDAÇÃO
NOUTRAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS DE
PORTUGAL E DO BRASIL

**O RISCO HIDROLÓGICO NO MUNICÍPIO DE BRAGA:
CONTRIBUTO PARA A SUA CARTOGRAFIA**
**HYDROLOGICAL RISK IN THE CITY OF BRAGA:
CONTRIBUTION TO ITS MAPPING**

Isabel Ferreira

Universidade do Minho, Departamento de Geografia (Portugal)
ORCID: 0000-0002-4286-315X isabelcsmf@gmail.com

António Bento-Gonçalves

Universidade do Minho, Departamento de Geografia (Portugal)
ORCID: 0000-0002-9646-156X bento@geografia.uminho.pt

António Vieira

Universidade do Minho, Departamento de Geografia (Portugal)
ORCID: 0000-0001-6807-1153 vieira@geografia.uminho.pt

Resumo: O risco hidrológico é um dos riscos vulgarmente classificado como natural e que apresenta uma elevada e difusa incidência no território nacional, não sendo, o município de Braga, uma exceção. Neste contexto, foi adaptada uma metodologia, para a elaboração de uma cartografia de risco hidrológico no município de Braga, que envolve três componentes de risco, sendo eles a perigosidade, a exposição e a vulnerabilidade social. Esta metodologia permitiu identificar as áreas com diferentes níveis de risco e, desta forma, foi possível estabelecer também as áreas prioritárias para a implementação de medidas de gestão do risco hidrológico, visando melhorar a segurança das populações.

Palavras-chave: Braga, risco hidrológico, perigosidade, exposição, vulnerabilidade social.

Abstract: The hydrological risk is a risk that is commonly classified as natural, and one which has a high and widespread incidence in the national territory; the municipality of Braga is no exception. A methodology was therefore adapted for drafting a map of the hydrological risk in the municipality of Braga. Three risk components are involved, namely, hazard, exposure, and social vulnerability. This methodology allowed the identification of areas with different levels of risk, and it was also possible to establish priority areas where hydrological risk management measures should be implemented, aimed at improving people's safety.

Keywords: Hydrological risk, Braga, probability of the hazard, exposure, social vulnerability.

Introdução - Enquadramento do risco hidrológico no município de Braga

Rebelo (1996) afirma que o ser humano, ao se consciencializar da sua existência, ficou também ciente dos riscos a que estava exposto, sendo por isso, o risco, inerente à própria vida (Smith, 1992).

Na nossa sociedade, o risco está em toda a parte (Veyret, 2007), podendo mesmo falar-se de uma “sociedade de risco” (Beck, 1992, pp: 183), sendo, portanto, diante deste paradigma, indispensável gerir o risco (Veyret, 2007).

Risco natural é a denominação para fazer referência aos riscos que não podem ser facilmente atribuídos ou relacionados com a ação humana (Dagnino e Junior, 2007). No entanto, essa é uma tarefa cada vez mais difícil nos dias de hoje (Rebelo, 2003).

Os riscos naturais, por vezes, não podem ser estudados isoladamente (Rebelo, 2003), pois resultam da conjugação de dois aspetos: da dinâmica do meio físico e da exposição de uma comunidade (Fernandes, 2009). Desta forma, pode afirmar-se que o risco natural aparece relacionado com o ambiente físico como elemento ativo e relacionado com a presença do homem como elemento passivo (Fernandes, 2009).

O risco hidrológico é um dos riscos classificado como natural e decorre do excesso de água à superfície terrestre, comportando três subtipos que assumem uma aparência semelhante, sendo, por isso, muitas vezes confundidos e tratados como

um só. No entanto são tecnicamente distintos, podendo assim diferenciar-se o risco de cheia, o risco de inundação e o risco de alagamento (Lourenço, 2018).

O risco de cheia decorre de um aumento brusco do caudal, ou da altura da água num leito fluvial ou num outro canal com capacidade para transportar água (Lourenço, 2018), normalmente em resultado de precipitações intensas (Costa, 2020).

O risco de inundação é a consequência de duas componentes (Costa, 2020): por um lado, do processo associado ao transbordo da água para fora dos elementos que normalmente a contêm, sejam eles do leito normal dos rios, da linha de costa dos lagos, dos mares e dos oceanos, e dos canais subterrâneos naturais e artificiais (Lourenço, 2018); por outro, das vulnerabilidades que resultam do homem se instalar no espaço aluvial para implantar todos os tipos de construções, equipamentos e atividades (Costa, 2020).

O risco de alagamento ainda é pouco mencionado por produzir um efeito semelhante e coincidir com o risco de inundação do ponto de vista hidrológico. Contudo apresenta uma gênese diferente e, por essa razão, deve ser tratado em separado (Lourenço, 2018). Este corresponde a uma acumulação de água em áreas aplanadas da superfície terrestre, resultando exclusivamente da precipitação e de dificuldades de infiltração e de escoamento superficial por saturação do solo e das rochas, pelo que não deve ser confundido com inundações pois não resulta de nenhum transbordo (Lourenço, 2018).

O risco hidrológico é um dos riscos com bastante incidência no território nacional e, a cada ano que passa, são ainda muitos os municípios do país que continuam a ter problemas a ele associado (Costa, 2013).

Naturalmente, o município de Braga não é exceção. A Agência Portuguesa do Ambiente (APA), no relatório da “Avaliação Preliminar do Risco de Inundações em Portugal Continental” identificou 71 Áreas de Risco Potencial Significativo de Inundação (ARPSI) em Portugal Continental, sendo em Braga identificadas duas áreas de risco potencial significativo de inundação, Braga Padim da Graça e Braga Este.

Com uma área correspondente a 183,4 km² (INE, 2018), o município de Braga localiza-se em Portugal Continental (NUT I), na Região do Norte (NUT II) e na Sub-região do Cávado (NUT III) e é limitada a norte pelos municípios de Vila Verde e Amares, a oeste por Barcelos, a este pela Póvoa de Lanhoso e a sul e sudeste

faz fronteira com os municípios de Vila Nova de Famalicão e Guimarães. Com a reorganização administrativa das freguesias estabelecida no Regime Jurídico das Autarquias Locais, Lei 75/2013 de 12 de setembro, na sua redação atual, as 62 freguesias que possuía encontram-se atualmente agregadas em 37 freguesias/uniões de freguesias (INE, 2018). Possui como principais rios o Rio Cávado, que comanda a hidrografia no setor norte, constituindo uma fronteira natural do município, e o Rio Este, que é um dos principais afluentes do Rio Ave e que percorre o centro urbano do município (fig. 1).

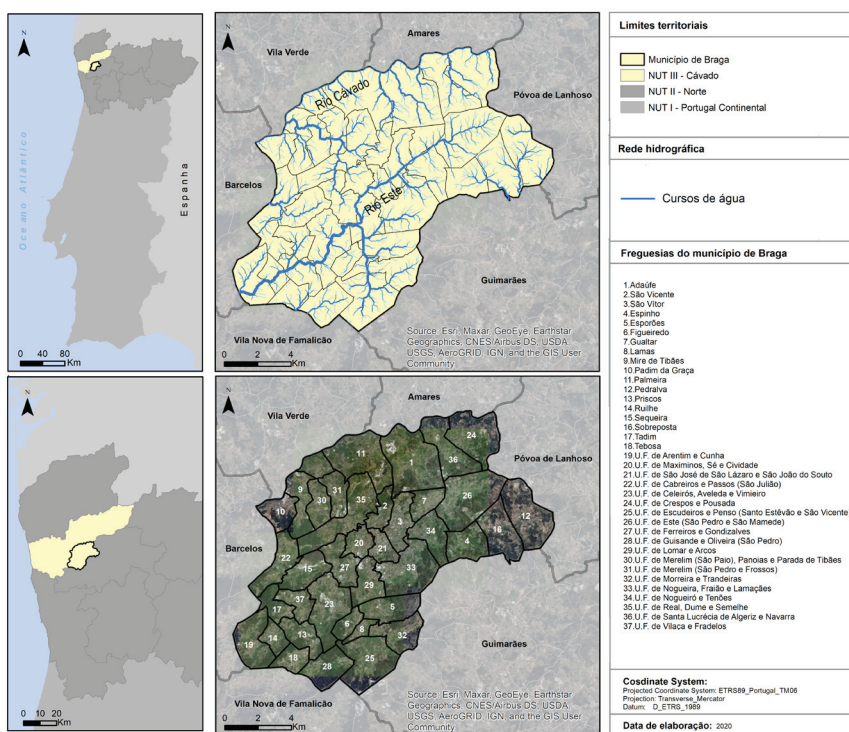


Fig. 1 - Enquadramento geográfico do município de Braga
 (Fonte: CMB, 2020; DGT, 2019; SNIRH, 2020).

Fig. 1 - Geographical setting of the municipality of Braga
 (Source: CMB, 2020; DGT, 2019; SNIRH, 2020).

Neste território os fenómenos hidrológicos são frequentes, causando consequências negativas para o ambiente, sociedade e economia. Cabe assim ao

Homem atuar com o intuito de prevenir estes fenómenos e de minimizar os seus impactes. O direito a uma maior segurança e a uma melhor qualidade do ambiente é uma expectativa crescente da sociedade, pelo que é essencial identificar e delimitar as áreas de risco para que estas sejam passíveis de uma aplicação de medidas, que visem prevenir os cidadãos e minimizar prejuízos, imprescindíveis numa gestão do território eficiente (Zêzere *et al.*, 2006).

Assim, o objetivo principal deste trabalho passou por adaptar e desenvolver uma metodologia para a elaboração de uma cartografia de risco hidrológico, o que resultou na delimitação do município de Braga em cinco áreas de risco diferentes que vão desde o risco “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “elevado”, a “muito elevado”, permitindo identificar as áreas a dar uma atenção reforçada.

Metodologia para a adaptação e elaboração de uma cartografia de risco hidrológico

Esta metodologia teve como base estudos realizados anteriormente no âmbito do projeto FORLAND, que versam sobre o risco hidrológico, sendo posteriormente adaptada face ao território do município de Braga.

Foi assim estabelecido um modelo de risco tendo como base três componentes de risco: a perigosidade, a exposição e a vulnerabilidade social (fig. 2).

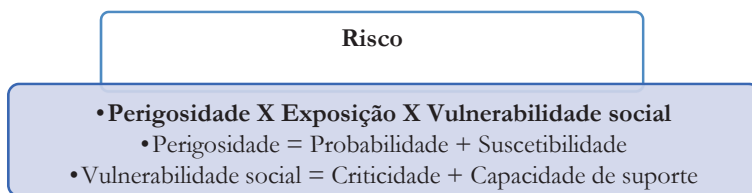


Fig. 2 - Modelo de risco.

Fig. 2 - Risk model.

De forma a dar corpo às componentes de risco foram selecionados e agrupados doze indicadores relevantes no território, em função das suas especificidades naturais, humanas e mistas, que determinam e influenciam o risco hidrológico (fig. 3).

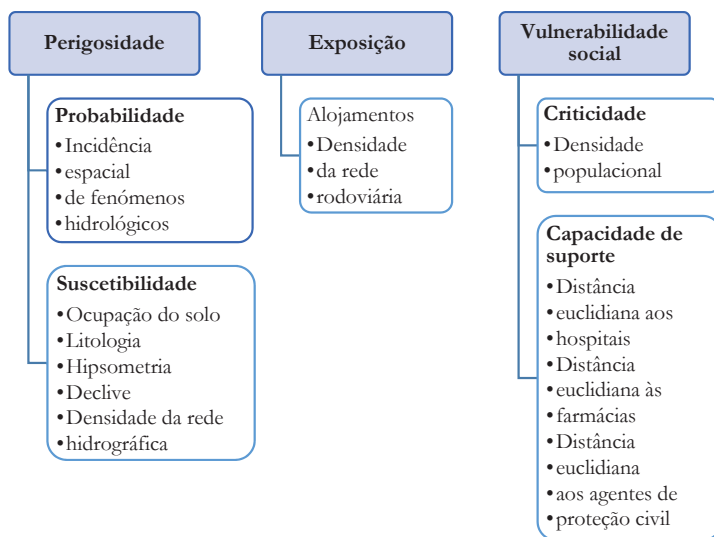


Fig. 3 - Componentes do risco.

Fig. 3 - Risk components.

A triagem destes indicadores resultou da pesquisa e leitura bibliográfica, sustentada em estudos¹ que aplicam indicadores para caracterizar o risco hidrológico e no levantamento de fontes de informação sobre como as particularidades do território podem influenciar a materialização do risco hidrológico.

Perigosidade

Probabilidade

- Incidência espacial de fenómenos hidrológicos:

Analisar o histórico de ocorrências é crucial, pois para além de permitir verificar a existência de padrões temporais, permite identificar as áreas recorrentemente

¹ Pereira, *et al.* (2019); Santos *et al.* (2015); Santos *et al.* (2019a); Santos *et al.* (2019b); Santos *et al.* (2019c); Santos *et al.* (2020); Tavares *et al.* (2018).

afetadas, ou seja, determinar a incidência espacial do fenómeno. Deste modo, o risco tem um valor quantificável (Almeida, 2014).

Umas das preocupações fundamentais associadas ao risco, tendo em conta os processos de decisão, decorre da necessidade de comparar, no presente, determinados efeitos cuja ocorrência num futuro é considerada com diferentes graus de convicção ou incerteza (Almeida, 2014). Assim, através da representação da incidência espacial, é possível identificar os locais onde estes fenómenos ocorrem recorrentemente, tendo estes, por isso, maior probabilidade de ocorrer nesse mesmo local, num futuro (fig. 4).

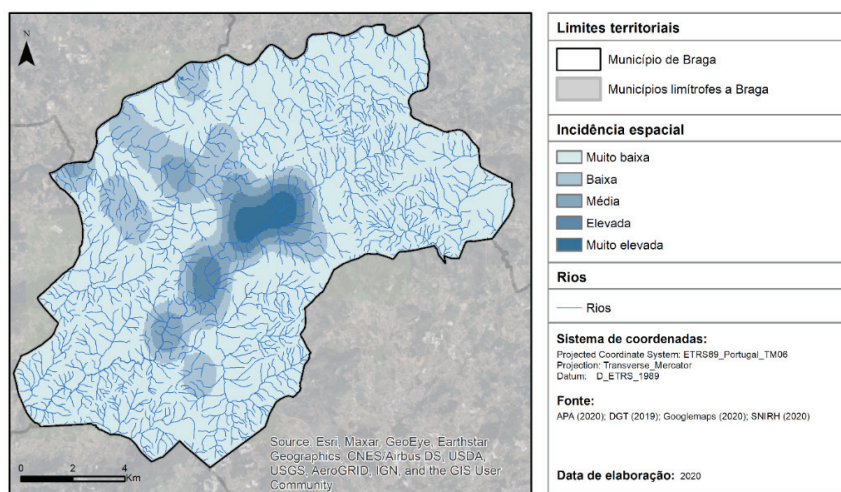


Fig. 4 - Incidência espacial de fenómenos hidrológicos no município de Braga (Fonte: APA, 2020; Googlemaps, 2020, SNIRH, 2020).

Fig. 4 - Spatial incidence of hydrological phenomena in the municipality of Braga (Source: APA, 2020; Googlemaps, 2020, SNIRH, 2020).

Suscetibilidade

• Ocupação do solo

O solo é um recurso natural suscetível a ações antrópicas que influenciam as suas características e alteram as suas propriedades. Assim, o Homem confere ao solo diversas ocupações.

No município de Braga a ocupação do solo corresponde a 8 classes nominais: “territórios artificializados”, “agricultura”, “pastagens”, “superfícies agroflorestais”, “florestas”, “matos”, “espaços descobertos ou com pouca vegetação” e “massas de água superficiais” (fig. 5).

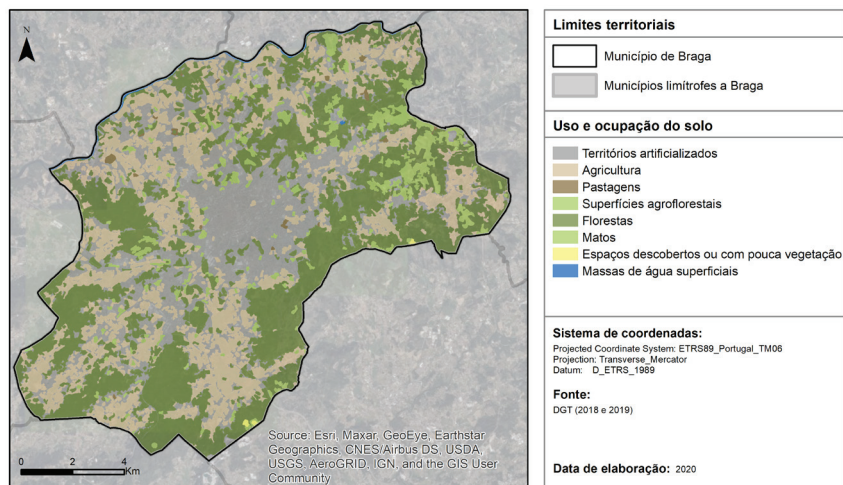


Fig. 5 - Ocupação do solo no município de Braga (Fonte: DGT, 2018 e 2019).

Fig. 5 - Land occupation in the municipality of Braga (Source: DGT, 2018 and 2019).

Cada ocupação do solo possui diferentes características que, por sua vez, induzem a diferentes manifestações do risco hidrológico.

As que propiciam este risco estão associadas às áreas próximas da sua génese, os cursos de água, mas também associadas a áreas impermeáveis que dificultam a infiltração e promovem a escorrência e consequentemente a acumulação de águas à superfície. Por outro lado, as que minimizam este risco estão associadas a áreas com uma boa cobertura vegetal, dado que a vegetação promove a infiltração das águas no solo e diminui a escorrência que, por sua vez, diminuem as águas à superfície.

- *Litologia*

Estudar a permeabilidade da litologia que compõe o território é algo significativo quando se trata de risco hidrológico. A permeabilidade consiste na maior ou menor

capacidade de uma rocha permitir a passagem de água, sem alterar a sua estrutura. Quanto mais permeáveis forem as rochas maior é a infiltração e, consequentemente, menor é o escoamento superficial. Por outro lado, quanto mais impermeáveis forem as rochas, menor é a infiltração e, a escorrência será maior, influenciando as águas à superfície.

O território em estudo apresenta 7 litologias: “granito de Celeirós e Vieira do Minho”, “granito de Braga”, “granito do Sameiro”, “granito de Briteiros”, “granito de Gondizalves”, “metassedimentos do Paleozóico” e “depósitos de cobertura” (fig. 6).

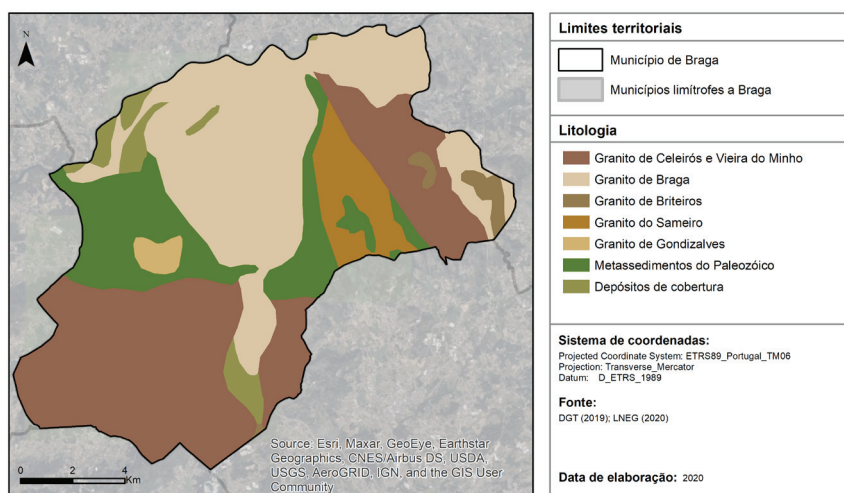


Fig. 6 - Litologia no município de Braga (Fonte: DGT, 2019; LNEG, 2020).

Fig. 6 - Lithology in the municipality of Braga (Source: DGT, 2019; LNEG, 2020).

O município de Braga é dominado pela ocorrência de rochas graníticas de idade Hercínica, por metassedimentos do Paleozóico e depósitos de cobertura (Ferreira *et al.*, 2000). Estas rochas têm permeabilidades diferentes o que interfere na infiltração e escorrência (Ferreira *et al.*, 2000), condicionando o risco hidrológico.

Os granitos de Braga apresentam generalizadamente uma permeabilidade média a baixa ou muito baixa (Ferreira *et al.*, 2000). O xisto é uma rocha metamórfica, caracterizada por ser de muito baixa permeabilidade (Oliveira e Fontoua, 2019). Já os depósitos de cobertura têm uma permeabilidade elevada (Ferreira *et al.*, 2000).

- *Relevo*

O risco hidrológico também é influenciado pelo relevo da bacia hidrográfica.

Neste território, as altitudes mais baixas predominam no setor norte, situadas na margem esquerda do Rio Cávado. A contrastar, as altitudes mais elevadas verificam-se a este, onde se situa o Monte do Sameiro, com 572 metros (CMB, 2001). No setor sul e no setor oeste o terreno é um misto de colinas e vales. O centro do município está implantado sobre uma plataforma que varia entre os 100 a 200 metros de altitude (fig. 7).

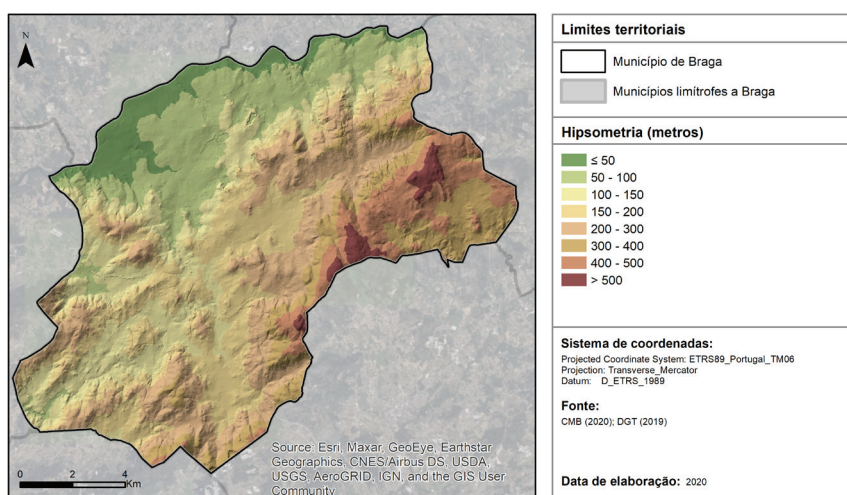


Fig. 7 - Hipsometria município de Braga (Fonte: CMB, 2020, DGT, 2019)

Fig. 7 - Hypsometry in the municipality of Braga (Source: CMB, 2020, DGT, 2019).

Relativamente à distribuição dos declives, esta também não é uniforme. Os declives da classe entre os 0% e os 4% acompanham a margem esquerda do rio Cávado e ao longo do vale do rio Este e do vale do rio Veiga, o que é explicado pelas baixas altitudes aí encontradas. Os declives mais acentuados (> 16%) localizam-se onde começam a surgir cotas mais elevadas (fig. 8).

Consequentemente, vamos observar uma correspondência das áreas mais elevadas com os declives mais acentuados, promovendo, muito provavelmente, um maior escoamento superficial das águas provenientes da precipitação, que serão

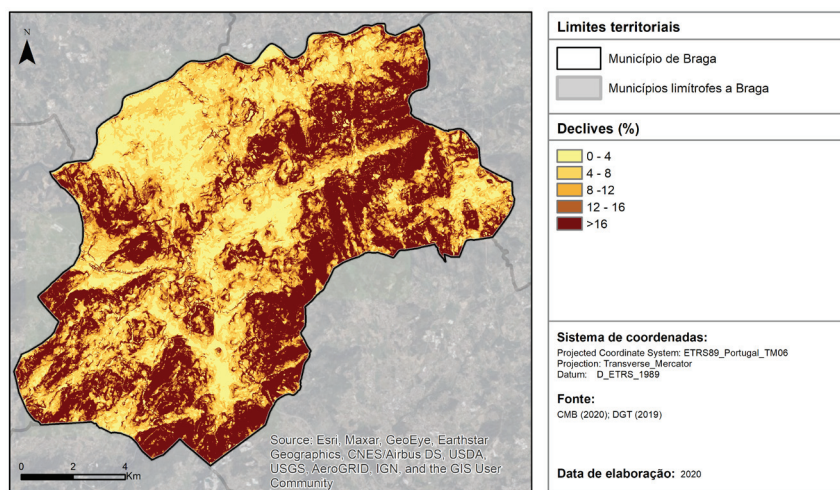


Fig. 8 - Declives no município de Braga (Fonte: CMB, 2020, DGT, 2019).

Fig. 8 - Slopes in the municipality of Braga (Source: CMB, 2020, DGT, 2019).

conduzidas, através de vales mais ou menos encaixados, para as áreas de menor altitude, que são também as que apresentam menores declives, contribuindo para a ocorrência, em situações mais críticas, de fenómenos hidrológicos extremos, como sejam as inundações ou mesmo alguns alagamentos.

- *Densidade da rede hidrográfica*

O Homem sempre procurou a proximidade dos cursos de água para se instalar (Rebelo, 1997), contudo, é nessas áreas que se verifica uma maior suscetibilidade de ocorrência de fenómenos hidrológicos associados.

O município de Braga apresenta uma densa rede hidrográfica que advém da elevada pluviosidade e da morfologia do terreno (CMB, 2015) (fig.9).

Este território é constituído por parte de duas bacias hidrográficas, a norte a bacia do Cávado e, a sul desta, a bacia hidrográfica do Ave. No município, associadas a estas bacias, correm, como cursos de água principais, o rio Cávado e o rio Este (APA, 2019), assim como outros seus afluentes (CMB, 2015).

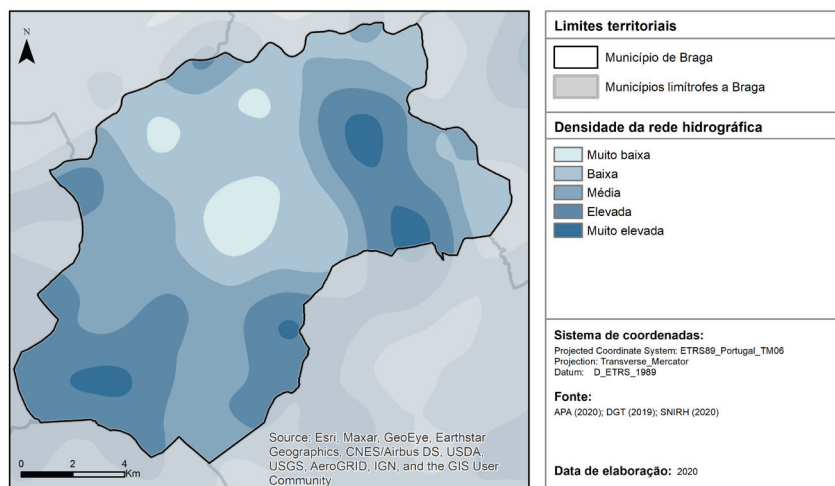


Fig. 9 - Densidade da rede hidrográfica no município de Braga
 (Fonte: APA, 2020; DGT, 2019; SNIRH, 2020).

Fig. 9 - Density of the hydrographic network in the municipality of Braga
 (Source: APA, 2020; DGT, 2019; SNIRH, 2020).

Exposição

- Alojamentos*

Os fenómenos hidrológicos causam diversas consequências negativas, afetando a qualidade de vida das populações, que residem no município, podendo causar destruições, que comprometam o alojamento dos indivíduos levando mesmo a casos de desalojamento.

A freguesia que regista um maior número de alojamentos é São Vítor (16619 alojamentos), seguindo-se a união de freguesias de Maximinos, Sé e Cidade (7522 alojamentos) e São José de São Lázaro e São João do Souto (7388 alojamentos) (fig. 10).

- Densidade da rede rodoviária*

A ocorrência de fenómenos hidrológicos pode condicionar a circulação de viaturas no município. De facto, Braga é um município com um caracter

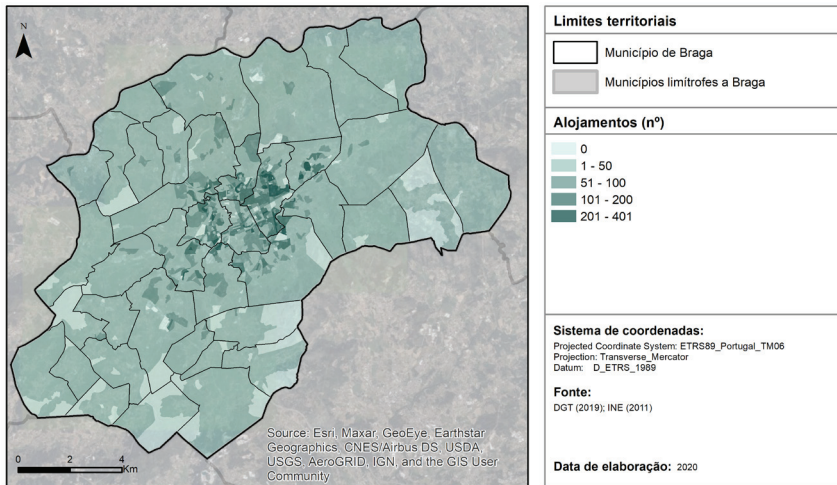


Fig. 10 - Total de alojamentos no município de Braga (Fonte: DGT, 2019; INE, 2021).

Fig. 10 - Total dwellings in the municipality of Braga (Source: DGT, 2019; INE, 2021).

essencialmente urbano demonstrado pela cartografia da rede viária, que demonstra a sua elevada densidade (CMB, 2020), onde o excesso de água pode ocasionar dificuldades nos acessos ou até mesmo provocar o corte das vias (fig. 11).

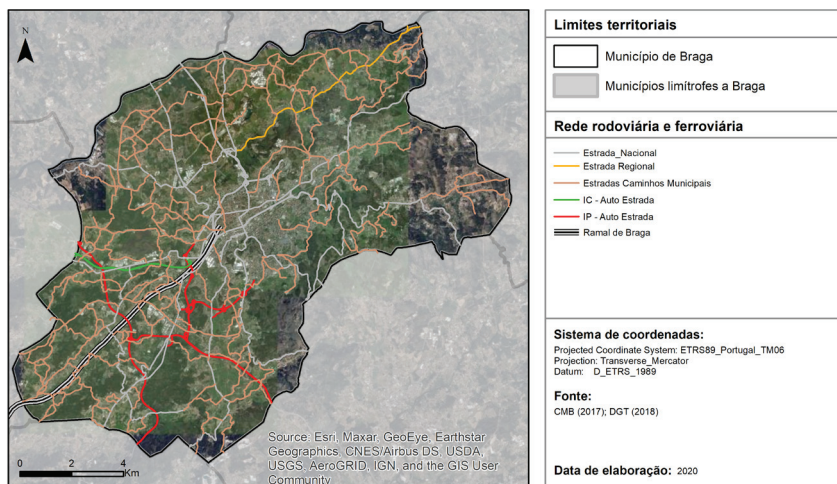


Fig. 11 - Rede rodoviária no município de Braga (Fonte: CMB, 2017; DGT, 2018).

Fig. 11 - Road network in the municipality of Braga (Source: CMB, 2017; DGT, 2018).

Vulnerabilidade social

Criticidade

- *Densidade populacional*

A densidade populacional é um indicador importante na medida em que demonstra a relação entre a população e a superfície do território (INE, 2020), indicando os locais onde se encontram as maiores e as menores concentrações de população. Assim, é possível identificar os locais onde a criticidade pode ser maior e consequentemente os locais que necessitam de mais operacionais e meios para dar resposta em situações de manifestação de risco.

A freguesia com maior densidade populacional é a de São Vítor, com 7258,46 hab/km², seguindo-se a união de freguesias de São José de São Lázaro e São João do Souto, com 5881,10 hab/km² e a união de freguesias de Maximinos, Sé e Cividade, com 5676,88 hab/km² (INE, 2020). A freguesia de menor densidade populacional é a de Pedralva, com apenas 137,58 hab/km², segue-se a união de freguesias de Crespos e Pousada, com 183,56 hab/km², e a freguesia de Sobreposta, com 217,55 hab/km² (INE, 2020).

Como seria de esperar, é notório que as subsecções estatísticas das freguesias centrais são as áreas que detêm maior densidade, enquanto que as subsecções periféricas são as que registam menor densidade populacional existindo mesmo locais com o registo de 0 hab/km² (fig. 12).

Capacidade de suporte

- *Distância euclidiana aos hospitais*

Como referido anteriormente, as ocorrências de fenómenos hidrológicos podem causar consequências entre as quais ferimentos e até mesmo perdas de vidas humanas. Pelo que os hospitais são um equipamento de saúde a ser incuído nas componentes que determinam e influenciam o risco.

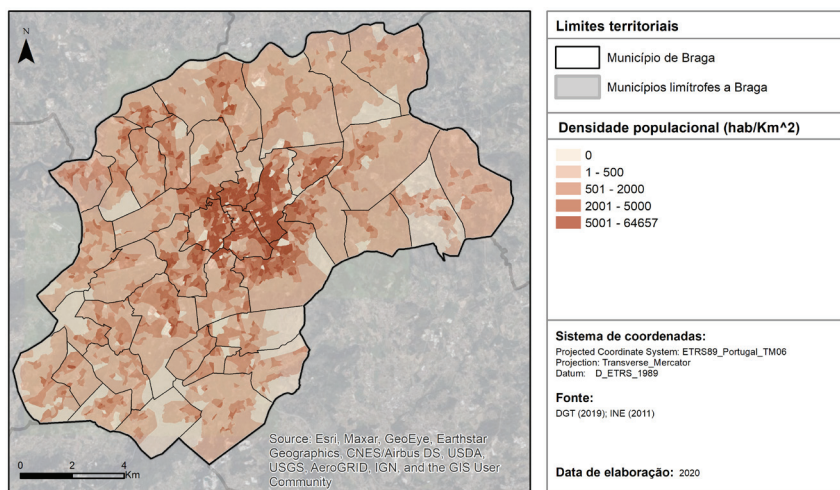


Fig. 12 - Densidade populacional no município de Braga (Fonte: DGT, 2019, INE, 2021).

Fig. 12 - Population density in the municipality of Braga (Source: DGT, 2019, INE, 2021).

No município de Braga existem 5 unidades hospitalares, que se encontram localizados, sobretudo, na área urbana do município (fig. 13).

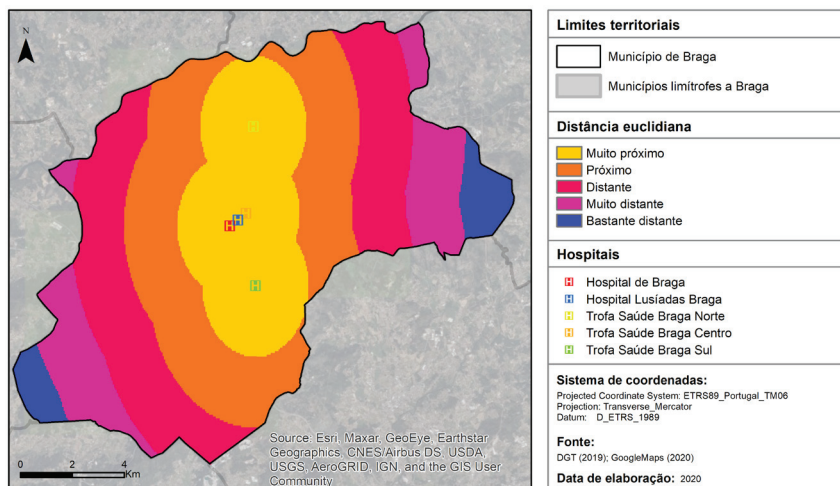


Fig. 13 - Distância euclidiana aos hospitais no município de Braga (Fonte: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).

Fig. 13 - Euclidean distance to hospitals in the municipality of Braga (Source: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).

- *Distância euclidiana às farmácias*

As farmácias são estabelecimentos com uma grande proximidade das populações, e nos dias de hoje a sua função vai muito além da simples dispensa de medicamentos aos utentes (Leal, 2014).

No município de Braga, existem 38 farmácias (Infarmed, 2020), as quais se encontram distribuídas por todo o município, com predominância nas freguesias centrais (fig. 14).

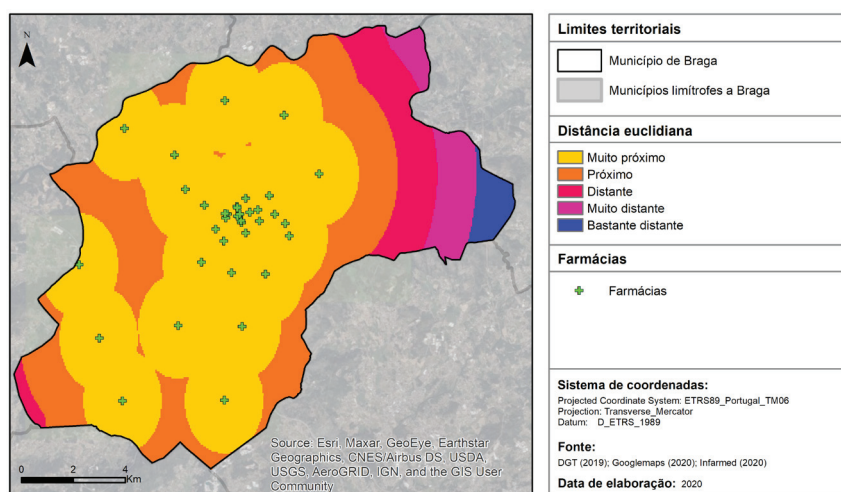


Fig. 14 - Distância euclidiana às farmácias no município de Braga
 (Fonte: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).

Fig. 14 - Euclidean distance to pharmacies in the city of Braga
 (Source: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).

- *Distância euclidiana aos agentes de proteção civil*

Os agentes de proteção civil são entidades fundamentais em caso de ocorrências de fenómenos hidrológicos pois são aqueles que, sob a direção de chefias próprias, exercem funções de aviso, alerta, apoio e socorro, de acordo com as suas jurisdições próprias.

Na generalidade os agentes de proteção civil estão sobretudo localizados na área urbana (fig. 15).

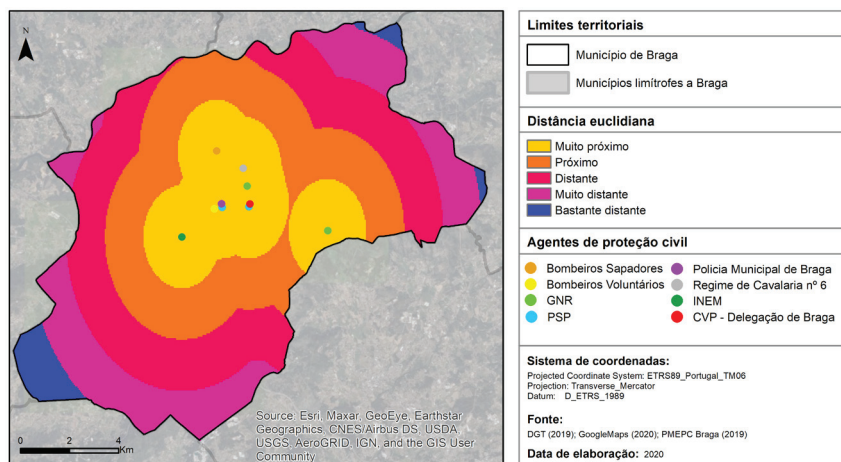


Fig. 15 – Distância euclidiana aos agentes de proteção civil no município de Braga (Fonte: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).

Fig. 15 – Euclidean distance to civil protection agents in the municipality of Braga (Source: DGT, 2019 Googlemaps, 2020).

Implementação da metodologia de cartografia do risco

Tendo em vista a elaboração de uma cartografia de risco hidrológico, a metodologia utilizada baseou-se numa análise espacial em ambiente SIG.

Primeiramente foi definida uma escala de risco, dispondo esta de cinco níveis de risco: “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “elevado” e “muito elevado”, sendo dessa forma possível atribuir a cada classe dos indicadores, o nível de risco correspondente (fig. 16).



Fig. 16 – Níveis de risco.

Fig. 16 – Risk levels.

Seguidamente foi elaborada a respetiva cartografia com apoio do *software* ArcGis versão 10.6.1. da ESRI e foi utilizada a ferramenta *raster calculator*, disponível no software SIG para a gerar, uma vez que esta é uma ferramenta de geoprocessamento que permite criar e executar expressões de álgebra de mapas (ESRI, 2020).

Com a finalidade de obter uma cartografia de risco hidrológico válida foi o seguinte o processo de atribuição de ponderações.

Para a perigosidade pretendeu-se harmonizar os seus subcomponentes de forma a atribuir a ambos, probabilidade e suscetibilidade, a importância de 50%.

Deste modo, o indicador incidência de fenómenos hidrológicos, possui 50% da percentagem total da perigosidade.

Perigosidade

No que concerne à suscetibilidade, foi atribuída maior ponderação à densidade da rede hidrográfica, 20%, uma vez que nesta está implícita a génese das cheias e inundações e indiretamente a ocorrência de alagamentos em momentos de precipitação.

Depois seguem-se dois indicadores que se completam por estarem relacionados com a permeabilidade do território.

A ocupação do solo detém uma ponderação de 15%, uma vez que a maior parte dos fenómenos hidrológicos ocorrem nas áreas urbanas que se traduzem por solos impermeáveis. Segundo Teixeira (2005), os fenómenos hidrológicos são sobretudo um problema urbano. Nestas áreas as águas têm dificuldades na infiltração e, portanto, o escoamento superficial é promovido. Segue-se a litologia, uma vez que está relacionada com a permeabilidade das rochas que compõem o território, sendo por isso atribuída a ponderação de 5%.

O relevo, no seu conjunto, segue-se com 10% de ponderação. Este encontra-se subdividido em hipsometria e declives, ambos com 5% de ponderação, uma vez que estes se completam, pois, as cheias, inundações e alagamentos ocorrem simultaneamente em áreas de menor altitude, mas também com menor declive (aplanadas).

Exposição

A componente exposição, é composta por apenas dois indicadores, nomeadamente os alojamentos e a densidade da rede rodoviária.

Ao número de alojamentos por subsecção estatística foi atribuída a ponderação de 60%. Isto porque para além de representarem uma realidade numérica, também se destinam à habitação dos indivíduos, estando expostos de tal forma que, em caso de ocorrências de fenómenos hidrológicos graves, o lar dos residentes pode ser comprometido, existindo mesmo possibilidade de situações de desalojamento.

No que concerne à densidade da rede rodoviária, optou-se por atribuir 40%. Uma vez que esta foi representada através da utilização de uma ferramenta de geoprocessamento aplicada às linhas da rede rodoviária, não se revela uma realidade absoluta. Por esse motivo atribuiu-se maior ponderação aos alojamentos. Contudo, este indicador também está exposto a fenómenos hidrológicos de tal modo que podem ocorrer situações que condicionem uma circulação fluída e segura. Sendo que, por isso, estas ponderações não foram muito díspares, visando o equilíbrio.

Vulnerabilidade social

Relativamente à vulnerabilidade social, também se pretendeu uniformizar os seus subcomponentes de forma a atribuir a ambos, criticidade e vulnerabilidade social, a importância de 50%.

Assim, o indicador correspondente à densidade populacional, possui 50% do total da criticidade.

As ponderações dos indicadores que compõem a capacidade de suporte, foram atribuídas de forma a que os hospitais e os agentes de proteção civil tivessem a mesma importância (20%), uma vez que os hospitais são essenciais para tratar os casos mais graves que comprometam a saúde da população, e os restantes agentes de proteção civil são os responsáveis por prestarem o devido socorro às populações em casos de ocorrência de fenómenos hidrológicos. Já as farmácias dispõem de 10% de ponderação uma vez que complementam, como um apoio, os hospitais, pois para além da dispensa de medicamentos (Leal, 2014), disponibilizam um

conjunto de serviços de saúde, permitindo evitar algumas deslocações aos hospitais, possibilitando um melhor funcionamento das urgências (Lisbonph, 2020).

Nesta perspetiva, deve-se dar destaque ao quadro que se segue (TABELA I).

TABELA I - Ponderações para a cartografia de risco hidrológico no município de Braga.

TABLE I - Weightings for hydrological risk mapping in the municipality of Braga.

Componente	Subcomponentes	Indicadores		Ponderações (%)
Perigosidade	Probabilidade	Incidência espacial de fenómenos hidrológicos		50
	Suscetibilidade	Ocupação do solo		15
		Litologia		5
		Relevo	Hipsometria	5
			Declive	5
		Densidade da rede hidrográfica		20
Exposição		Alojamentos		60
		Densidade da rede rodoviária		40
Vulnerabilidade Social	Criticidade	Densidade populacional		50
	Capacidade de suporte	Distância euclidiana aos hospitais		20
		Distância euclidiana às farmácias		10
		Distância euclidiana aos agentes de proteção civil		20

Depois de realizados todos os ajustes e estabelecidos todos estes parâmetros, os dados foram inseridos na ferramenta *raster calculator*, do *software* ArcGis versão 10.6.1. da ESRI, procedendo-se ao cálculo da perigosidade, da exposição e da vulnerabilidade através das seguintes equações (equações 1, 2 e 3).

Equação 1: Perigosidade Perigosidade = (incidência espacial X 0.5) + (ocupação do solo X 0.15) + (litologia X 0.05) + (hipsometria X 0.05) + (declive X 0.05) + (densidade da rede hidrográfica X 0.2)
Equação 2: Exposição Exposição = (alojamentos X 0.6) + (densidade da rede rodoviária X 0.4)
Equação 3: Vulnerabilidade social Vulnerabilidade social = (densidade populacional X 0.5) + (distância euclidiana aos hospitais X 0.2) + (distância euclidiana às farmácias X 0.1) + (distância euclidiana aos agentes de proteção civil X 0.2)

Para os mapas da perigosidade, da exposição e da vulnerabilidade social, o método de classificação de dados adotado foi o *natural breaks* em 5 classes.

Posteriormente, para se obter a cartografia de risco hidrológico, foi implementada a seguinte equação no *raster calculator* (equação 4).

Equação 4: Risco hidrológico

$$\text{Risco hidrológico} = \text{Perigosidade} \times \text{Exposição} \times \text{Vulnerabilidade social}$$

De forma a finalizar a cartografia de risco hidrológico, método de classificação de dados utilizado foi o quantile, estabelecido em 5 classes: “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “elevado” e “muito elevado”. Neste método cada classe contém um número igual de recursos, não existindo níveis de risco vazios ou níveis de risco com poucos ou muitos valores (ESRI, 2020).

Resultados da cartografia de risco hidrológico no município de Braga

Após a implementação dos procedimentos para cálculos dos diversos indicadores, através da álgebra de mapas, obtivemos a carta de perigosidade, de exposição e vulnerabilidade social, bem como a carta de risco hidrológico.

Assim constata-se que a distribuição da perigosidade é bastante irregular no conjunto do território analisado. A perigosidade “muito baixa” verifica-se sobretudo na periferia norte. A perigosidade “baixa” predomina no território e envolve todo centro do município. A perigosidade “média” localiza-se um pouco por todo o município, das periferias em direção ao centro, embora com menor expressão. Já a perigosidade “elevada” detém a menor área e observa-se principalmente circundando núcleo urbano, enquanto que a perigosidade “muito elevada” destaca-se pelo facto de abranger o troço do rio Este correspondendo ao centro urbano (fig. 17).

Relativamente à exposição, a classe “muito baixa” encontra-se essencialmente nas periferias do município, enquanto que a “baixa” é a que detém maior área envolvendo o centro. A exposição “média” observa-se ao longo de manchas que ligam a periferia do município ao seu centro, as “elevadas” rodeiam o centro urbano e as “muito elevadas” concentram-se no centro urbano do território (fig. 18).

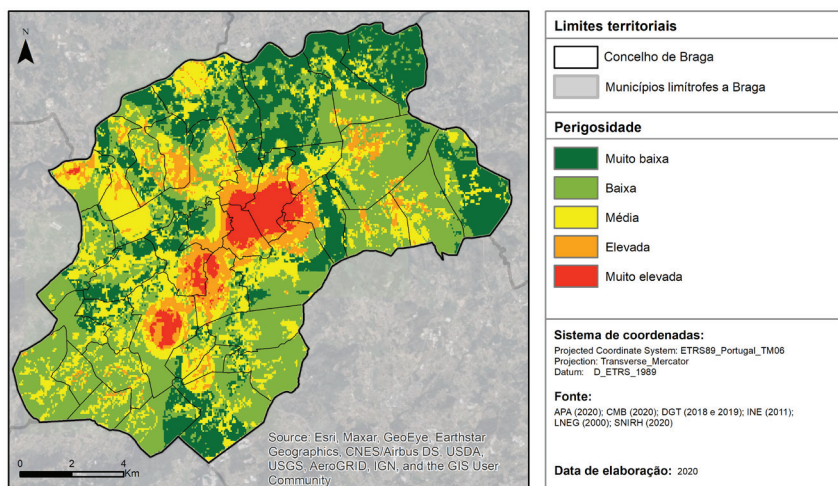


Fig. 17 - Carta de perigosidade.

Fig. 17 - Hazard map.

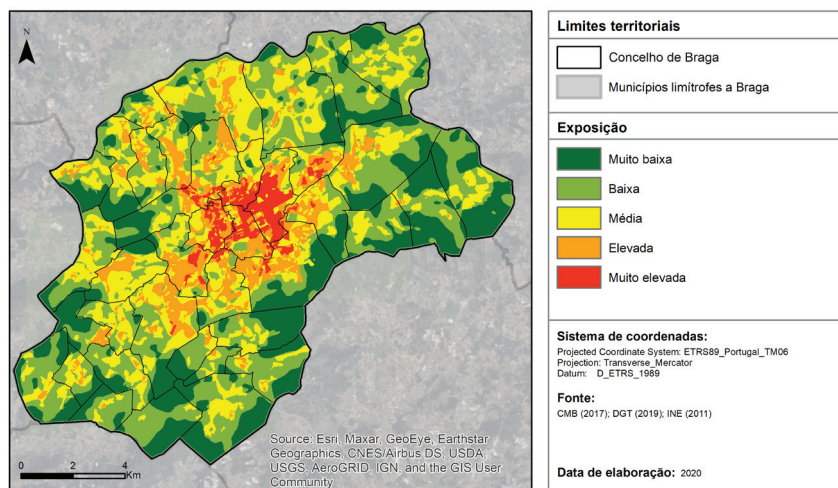


Fig. 18 - Carta de exposição.

Fig. 18 - Exposure map

De forma geral, verifica-se que à medida que nos afastamos do centro do município, a vulnerabilidade social (não diretamente ligada ao risco hidrológico) passa gradualmente de “muito baixa” a “muito elevada”, isto porque os hospitais, farmácias e agentes de proteção civil estão maioritariamente concentrados no centro

do município, e quanto mais distante estamos destes serviços de apoio maior será a distância a percorrer e consequentemente maior será o tempo de resposta, da ajuda e do socorro. Contudo, é também no centro deste território que se verifica maior densidade populacional e é por isso que a área urbana apresenta tanto uma vulnerabilidade “muito baixa” e “baixa”, atenuada devido à proximidade com os elementos referidos anteriormente, mas também “média”, “elevada” e “muito elevada” devido às áreas com maior densidade populacional (fig. 19).

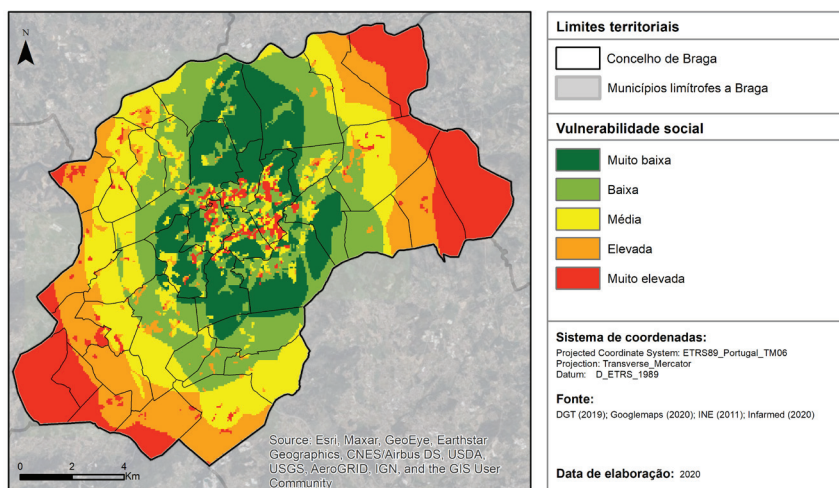


Fig. 19 - Carta de vulnerabilidade social.

Fig. 19 - Social vulnerability map.

Relativamente à cartografia de risco hidrológico no município de Braga, esta combina de forma geral todos os indicadores dos componentes de risco. A classe de risco “muito baixo” predomina no território, sendo de destacar o setor este, assim como o setor norte. O risco “baixo” observa-se maioritariamente a sul e a nordeste enquanto que as áreas de risco “médio” se encontram espalhadas desde as periferias até ao centro. As áreas de risco “elevado” geralmente envolvem as áreas de risco “muito elevado”, sendo que este nível de risco “muito elevado” é o que detém menor área (TABELA II). Contudo, observa-se uma mancha significativa relacionada com o percurso do rio Este, destacando-se o centro urbano por onde este passa, mas também algumas áreas no setor oeste (fig. 20).

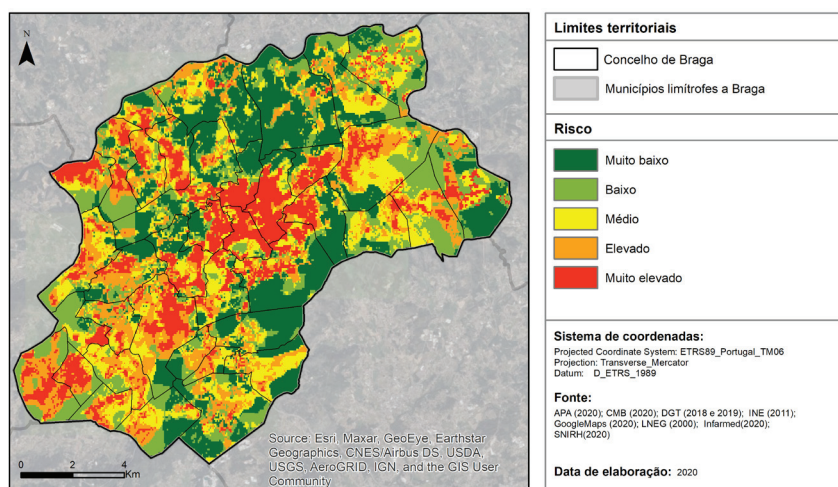


Fig. 20 - Cartografia de risco hidrológico.

Fig. 20 - Hydrological risk mapping.

TABELA II – Área e % de risco hidrológico no município de Braga.

TABLE II - Area and % of hydrological risk in the municipality of Braga.

Escala	Muito baixo	Baixo	Médio	Elevado	Muito elevado
Área em km ²	47.47	36.76	33.63	37.21	28.32
%	25.89	20.04	18.34	20.29	15.44

Considerações finais

Uma vez produzida a cartografia de risco hidrológico para o município de Braga, foi possível identificar e delimitar as áreas com diferentes níveis de risco.

Apesar das áreas de risco hidrológico “muito elevado” deterem a menor percentagem, correspondem áreas onde é requerida uma atenção especial.

Estas áreas verificam-se de forma contínua entre as freguesias, não apresentando barreiras às mesmas, contudo é importante evidenciá-las no sentido de se ter uma noção espacial do risco. São, portanto, de salientar as áreas correspondentes:

- A todo o troço do rio Este:
 - A montante: a união de freguesias de Este (São Pedro e São Mamede), a freguesia de Gualtar, a união de freguesias de Nogueiró e Tenões;

- Na área urbana: a freguesia de São Vítor, a freguesia de São Vicente, a união de freguesias de São José de São Lázaro e São João do Souto, a união de freguesias de Maximinos, Sé e Cidade;
- A jusante: a união de freguesias de Ferreiros e Gondizalves, a união de freguesias de Celeirós, Aveleda e Vimieiro, a freguesia de Ruilhe e a união de freguesias de Arentim e Cunha.
- No setor oeste do município destaca-se a freguesia de Padim da Graça junto ao rio Cávado e em algumas áreas da união de freguesias de Cabreiros e Passos (São Julião), a freguesia de Mire de Tibães, a união de freguesias de Merelim (São Paio), Panoias e Parada de Tibães, a união de freguesias de Merelim (São Pedro e Frossos) e a união de freguesias de Real, Dume e Semelhe.

De um modo geral, foi verificado que as áreas de risco “muito elevado” estão simultaneamente relacionadas com a localização das áreas próximas aos cursos de água, das áreas com altitudes baixas e declives suaves, com ocupações do solo correspondente ao tecido artificializado e das áreas com uma elevada densidade populacional, que por sua vez também se relacionam com as áreas com um maior número de alojamentos, das áreas com uma rede rodoviária mais densa e das áreas com uma maior incidência espacial.

O que permitiu constatar que, apesar do risco hidrológico estar normalmente inserido no grande grupo dos riscos naturais, uma vez que a sua manifestação se encontra associada às características do meio natural, este também apresenta várias componentes antrópicas associadas que decorrem de ações do homem, sobretudo relacionadas com a evolução da urbanização, sendo de destacar as construções nas proximidades dos cursos de água, o aumento das taxas de impermeabilização e as obstruções nos cursos de água e nos sistemas de drenagem.

A proteção absoluta é um “mito” irão existir sempre riscos residuais (Costa et. al., 2014, pp: 287), assim numa tentativa de controlar o risco hidrológico no município de Braga, é essencial apostar em medidas de autoproteção, prevenção e minimização.

Estas medidas não se traduzem numa eliminação da possibilidade de ocorrências de fenómenos hidrológicos, mas antes na redução do risco que lhes está associado, quer em termos de vidas, quer em termos de bens (APA, 2019).

Nesta lógica, deve-se conferir aos cidadãos bracarenses conhecimentos e competências essenciais para uma cidadania ativa e responsável perante os riscos de

modo a instituir uma cultura de autoproteção com base no conhecimento das áreas com maior de risco hidrológico no território.

O conhecimento das áreas de risco mais elevado permite apostar em estratégias de planeamento, ordenamento e de gestão do sistema urbano em conciliação com princípios de sustentabilidade e desenvolvimento.

Conhecer e agir no paradigma de “sociedade de risco” exige novas competências pessoais e, portanto, é essencial que, no futuro, esta gestão do risco seja objetiva, participativa e contínua, de forma que seja melhorada a qualidade de vida da população assim como a qualidade do ambiente.

Bibliografia

- Almeida, A. B. (2014). Gestão do risco e da incerteza: conflitos e filosofia subjacente. In *Gestão do risco e da incerteza: conceitos e filosofia subjacente. I Diálogo entre Ciência e Utilizadores*. Imprensa da Universidade de Coimbra. DOI: http://dx.doi.org/10.14195/978-972-8330-23-1_2
- CÂMARA MUNICIPAL DE BRAGA (2001). *Relatório da Avaliação da Execução do PDMB*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE BRAGA (2014). *PDMB – Estudos temáticos - Carta de risco de cheias e inundações*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE BRAGA (2014). *Revisão do PDMB – Relatório dos estudos temáticos*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE BRAGA (2015). *Revisão do PDMB - Avaliação Ambiental Estratégica – Relatório*.
- Costa, F. S. (2020). *Riscos de inundação e suas manifestações*. Catástrofes naturais uma abordagem global. Imprensa da universidade de Coimbra, 71-117. DOI: https://doi.org/10.14195/978-989-26-1936-1_4
- Costa, F. S., Lourenço, L., Ferreira, C., & Gouveia, M. (2014). Medidas preventivas na gestão integrada do risco de inundação em Portugal: o planeamento participativo e o papel das comunidades locais.. In *Multidimensão e territórios de risco*. Imprensa da Universidade de Coimbra e RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, 287-290. DOI: http://dx.doi.org/10.14195/978-989-96253-3-4_48
- Dagnino, R. S., Junior, S. C. (2007). *Risco ambiental: conceitos e aplicações*. CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem, volume 2, número 2, 50–87.
- Fernandes, M. J. P. (2009). *Riscos no Concelho da Ribeira Brava movimentos de vertente cheias rápidas e inundações (Dissertação de mestrado)*. Obtenção do grau de mestre em dinâmicas sociais. Faculdade de economia. Coimbra, Portugal.
- Ferreira, N., Dias, G., Meireles, C. A. P., & Braga, M. A. S. (2000). *Notícia Explicativa da folha 5-D (Braga)*. Instituto Geológico e Mineiro.
- Gaspar, T. C. F. (2013). *Modelos de apoio à decisão para gestão de riscos de cheias em bacias hidrográficas urbanizadas (Dissertação de mestrado)*. Obtenção de grau de mestre em engenharia do Ambiente. Técnico de Lisboa. Lisboa. Portugal.

- ÍNDICE MUNICIPAL DE RISCO DE CHEIA PARA PORTUGAL (2019). Apresentação em Guimarães no XII Congresso da Geografia Portuguesa .
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA (2018). *Anuário Estatístico da Zona Norte*.
- Leal, M. A. N. A. (2014). *O Farmacêutico em Farmácia Comunitária Experiência Pessoal e Profissional. (Relatório para a obtenção do grau de mestre em ciências farmacêuticas)*. Universidade da Beira Interior. Covilhã. Portugal.
- Lourenço, L., Amaro, A. (2018). *Riscos e Crises: da teoria à plena manifestação*. Imprensa da Universidade de Coimbra. Coimbra University Press, volume 6. ISBN: 978-989-26-1696-4; ISBN Digital: 978-989-26-1697-1, 523 p. DOI: <https://doi.org/10.14195/978-989-26-1697-1>
- M., Vaz, T., Meneses, B., Rilo, A., Bateira, C (2019). *Perfis municipais de risco a cheias e inundações para aplicação ao ordenamento do território em Portugal continental*. Apresentação em Lisboa no Encontro ciência '19.
- Martins, P. M. F. (2013). *Sistema de previsão e alerta de cheias e inundações (Dissertação de mestrado)*. Obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Universidade do Minho. Guimarães. Portugal.
- Oliveira, D. A., Fontoura, S. A. B. (2019). *Simulação da operação de fraturamento hidráulico em formações de xisto*. Geociências, volume 38, número 4, 1064-1072.
- Pereira, S., Santos, P. P., Zêzere, J. L., Reis, E., Santos, M., Garcia, R., Oliveira, S., Rocha, J., Fragoso, M., Vaz, T., Meneses, B., Rilo, A., Bateira, C (2019). *Perfis municipais de risco a cheias e inundações para aplicação ao ordenamento do território em Portugal continental*. Apresentação em Lisboa no Encontro ciência '19.
- Rebelo, F. (1996). Alguns livros recentes sobre riscos, perigos e crises. *Territorium*, número 3, 61-64. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_3_11
- Rebelo, F. (1997). *Risco e crise nas inundações rápidas em espaço urbano: Alguns exemplos portugueses analisados a diferentes escalas*. Territotium, número 4, 29-47. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_4_4
- Santos, P. P. (2015). *Cheias e inundações: Avaliação, impactos e instrumentos para a gestão do risco. Tese de Doutoramento*). Obtenção do grau de doutor no ramo de doutoramento em território, risco e políticas públicas. Universidade de Lisboa. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Lisboa, Portugal.
- Santos, P. P., Pereira, S., Reis, E., Zêzere, J., Garcia, R., Oliveira, S., Santos, M. (2019a). Aplicação de um processo de análise hierárquica para a avaliação municipal da suscetibilidade a cheias rápidas em Portugal Continental. *Água e Território*, 163-180.
- Santos, P. P., Pereira, S., Zêzere, J. L., Tavares A. O., Reis, E., Garcia, R. A., Oliveira, S. C. (2020). A comprehensive approach to understanding flood risk drives at the municipal level. *Journal of Environmental Management*, 260, 110127.
- Santos, P. P., Pereira, S., Zêzere, J. L., Tavares, A. O., Reis, E., Garcia, R. A. C., Oliveira, S. C. (2019b) Índice municipal de risco de cheia para Portugal. *Apresentação em Guimarães no XII Congresso da Geografia Portuguesa*.
- Santos, P. P., Reis, E., Pereira, S., Santos, M. (2019c). A flood susceptibility model at the national scale based on multicriteria analysis. *Science of The Total Environment*, 667, 325-337.
- Smith, K. (1992). *Environmental Hazards. Assessing Risk and Reducing Disaster*.

- Tavares, O. A., Barros, J. L., Mendes, J. M., Santos, P. P., Pereira, S. (2018). Decennial comparison of changes in social vulnerability: A municipal analysis in support of risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. Elsevier
- Veyret, Y. (2007). Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. Em *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*, 23-79.
- Zêzere, J. L., Pereira, A. R., Morgado, P. (2006). Perigos naturais e tecnológicos no território de Portugal Continental. *Apontamentos de Geografia - Série Investigação*.

Webgrafia

- <http://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=848> (acedido 2020)
- <http://www.dgterritorio.pt/> (acedido 2020)
- http://www.dgterritorio.pt/dados_abertos/cos/ (acedido 2020)
- <https://apambiente.pt/> (acedido 2020)
- <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9> (acedido 2020)
- <https://lisbonph.pt/> (acedido 2020)
- <https://rea.apambiente.pt/> (acedido 2020)
- <https://rea.apambiente.pt/content/risco-associado-%C3%A0s-zonas-inund%C3%A1veis> (acedido 2019)
- <https://sniamb.apambiente.pt/> (acedido 2020)
- <https://sniamb.apambiente.pt/tema/1309> (acedido 2020)
- <https://snirh.apambiente.pt/> (acedido 2019)
- <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=1250> (acedido 2020)
- <https://www.esri-portugal.pt/pt-pt/o-que-sao-os-sig/overview> (acedido 2019)
- <https://www.facebook.com/municipiodebraga/posts/926289504068904/> (acedido 2020)
- <https://www.sns.gov.pt/> (acedido 2020)

**ESTIMATIVAS DE CAUDAIS DE PONTA NO
PARQUE NATURAL DE MONTESINHO
APLICANDO O MÉTODO SCS**
PEAK FLOW ESTIMATIONS IN MONTESINHO
NATURAL PARK APPLYING THE SCS METHOD

Tamires Bertocco

Instituto Politécnico de Bragança
Centro de Investigação da Montanha (Portugal)
ORCID: 0000-0002-5744-8530 bertoccotamires@gmail.com

Tomás de Figueiredo

Instituto Politécnico de Bragança
Centro de Investigação da Montanha (Portugal)
ORCID: 0000-0001-7690-8996 tomasfig@ipb.pt

Felícia Fonseca

Instituto Politécnico de Bragança
Centro de Investigação da Montanha (Portugal)
ORCID: 0000-0001-7727-071X ffonseca@ipb.pt

Resumo: Os lameiros exercem um papel de influência na regulação do ciclo hidrológico em pequenas bacias de drenagem em zonas de montanha. No Parque Natural de Montesinho (PNM), os lameiros estão em regressão de uso devido ao abandono da terra, principalmente por se situarem em zonas com alto declínio demográfico. Nestas condições, através do método SCS (*Soil Conservation Service*), estimaram-se caudais de ponta em dezesseis bacias hidrográficas ocupadas parcialmente por lameiros no PNM, sendo possível identificar diferenças significativas entre categorias de bacias associadas a presença ou não de rio próximo aos lameiros, bem como ao uso e abandono de terra.

Além disso, baseando-se em previsões de precipitação, no contexto de alterações climáticas, simulou-se um aumento de até 86% de nos caudais de ponta até o ano de 2100. À vista das respostas hidrológicas obtidas, percebeu-se o impacto do processo de abandono dos lameiros, principalmente nos caudais de ponta, trazendo efeitos negativos e riscos hidrológicos através da falta ou inadequação do manejo dessas zonas).

Palavras-chave: Pequenas bacias, zonas de montanha, risco hidrológico, resposta hidrológica.

Abstract: The *lameiros* [regional name for semi-natural meadows] are influential in regulating the hydrological cycle in small drainage basins in mountain areas. In Montesinho Natural Park (PNM) *lameiros* are receding as the land is being abandoned, mainly because this mountain region is suffering high demographic decline. In these circumstances, the SCS (Soil Conservation Service) method was applied to estimate peak flows in sixteen catchments partially occupied by *lameiros* in the PNM. Significant differences were identified between catchment categories depending on whether or not there is a permanent stream close to the meadows, as well as between those with *lameiros* in use or facing abandonment. Furthermore, based on predicted rainfall in the context of climate change, an increase of up to 86% in peak flows was estimated for the year 2100. The impact of abandoning *lameiros* on peak flows draws attention to the hydrological risks associated with the lack or failure of management of these areas.

Keywords: Small catchments, mountain areas, hydrological risk, hydrological response.

Introdução

Localizado no Nordeste Transmontano de Portugal, o Parque Natural de Montesinho (PNM), uma Área Protegida composta predominantemente de ecossistemas naturais e semi-naturais, abriga populações e comunidades animais características da fauna europeia e ibérica, como também vegetação natural e diversa que possui grande relevância ao nível nacional e mundial. Neste contexto, os *lameiros* (nome regional para pastagens semi-naturais) contribuem com os serviços ambientais no PNM, como regulação do ciclo hidrológico, e que por meio de sua cobertura herbácea cria uma descontinuidade no terreno auxiliando na proteção contra perturbações externas, principalmente na propagação de incêndios florestais. Todavia, os lameiros estão em processo de regressão de uso devido ao abandono de terras, principalmente por se situarem em zonas de alto declínio demográfico e somados à falta de manejo há o favorecimento para a entrada de vegetação arbustiva nessas áreas, o que dificulta o papel de barreira para a propagação do fogo (Pereira *et al.*, 2005; Azevedo, 2016; ICNF, 2020).

Diante disso, o Projeto HabMonte, instituído pelo ICNF (Instituto da Conservação da Natureza e Florestas), tem dentre seus objetivos assegurar a proteção e a conservação do PNM a fim de minimizar ou eliminar eventos adversos que indicam-se com potencialidade de gerar prejuízos ambientais. A manutenção das áreas dos lameiros se inclui nessas medidas de prevenção estrutural, uma vez que em períodos de seca o PNM é extremamente suscetível à ocorrência de incêndios e os lameiros são essenciais para desfavorecer esse cenário (ICNF, 2018).

As implicações e consequências do manejo e abandono dos lameiros no quesito ecológico e botânico são amplamente estudados, ao contrário das questões hidrológicas que são pouco exploradas e mal conhecidas. Desse modo, o presente estudo tem como objetivo colaborar com conhecimento e entendimento das respostas hidrológicas perante os efeitos do processo de abandono de lameiros em pequenas bacias hidrográficas do PNM, através da aplicação de uma ferramenta de estimativa de caudais de ponta, nomeadamente o método do SCS (*Soil Conservation Service*). Ademais, foram simulados cenários baseados em alterações climáticas com a redução de precipitações ao longo de 100 anos com a finalidade de analisar as respostas hidrológicas desses cenários comparados à situação actual.

Metodologia

No Parque Natural de Montesinho foram selecionadas bacias hidrográficas que compreendem dezesseis lameiros, que abrangem o concelho de Bragança em Portugal e em uma parte da província de Zamora, na Espanha (fig. 1). A partir das condições dos lameiros em suas respectivas bacias, identificaram-se quatro categorias:

- UCR: Bacias que estão em uso e possuem rio próximo do lameiro;
- AcR: Bacias em abandono e com rio próximo do lameiro;
- UsR: Bacias em uso que não possuem rio próximo do lameiro e
- AsR: Bacias em abandono e sem rio próximo ao lameiro.

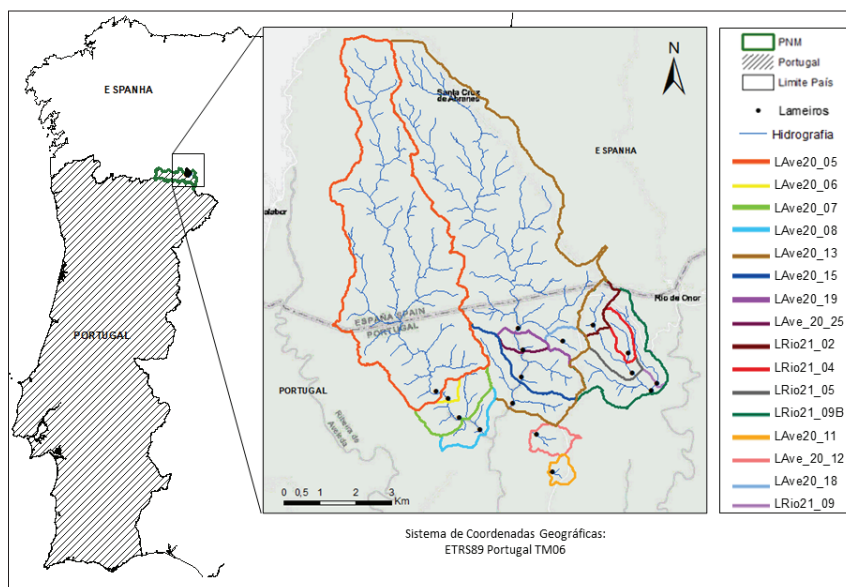


Fig. 1 - Localização das bacias hidrográficas e lameiros em estudo.

Fig. 1 - Location of the catchments and lameiros under study.

Para a aplicação do método SCS, utilizou-se informações das características físicas das bacias (TABELA I) e dados de precipitação a partir da curva de possibilidade udométrica de Portugal Continental, Região B (Matos *et al.*, 1986) para a estimação dos caudais de ponta em períodos de retorno de 2, 10, 50 e 100 anos.

TABELA I - Valores médios das características físicas das bacias estudadas (n = 4 por categoria)
TABLE I - Average values of the physical characteristics of the studied basins (n = 4 per category).

Característica	Unidade	UcR	AcR	UsR	AsR
Área da bacia	km ²	13,5	14,6	1,37	0,44
Área do lameiro	%	0,06	0,06	0,59	1,68
Perímetro da bacia	km	22,58	12,64	17,5	7,65
Altura média da bacia	m	149	140	87	57
Altitude média da bacia	m	846	859	818	823
Tempo de concentração	h	3,37	3,09	0,78	0,51
Declive médio do rio	m.m ⁻¹	0,034	0,034	0,066	0,072
Número de escoamento	-	84	87	86	83

Fonte/Source: Bertocco, 2020.

Para a definição do tempo de concentração utilizou-se o método de Temez (1978), o qual apontou maiores valores comparado ao método de Giandotti (1953), indicando uma perspectiva mais crítica, ou seja, um maior tempo para que a bacia contribua com o escoamento superficial até o seu exutório (McCuen, 1982; Bertocco, 2020). Para a determinação do número de escoamento, de acordo com a descrição de Lencastre e Franco (2006), foram considerados: (i) a condição antecedente de humedecimento do solo AMC III (*Antecedent Moisture Conditions*), (ii) o tipo hidrológico dos solos e (iii) o tipo de coberto vegetal, estes obtidos a partir de mapas de solos e de uso e ocupação do solo da área de estudo (Okada, 2019; Moreira, 2017).

A fim de analisar o comportamento hidrológico das bacias sob a influência de diferentes cenários, propôs-se simulações no contexto de alterações climáticas considerando o aumento das intensidades das chuvadas, provocado pela diminuição do número e dias de precipitação anual. Desse modo, segundo a Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas (EMAAC), admitiu-se para o cenário climático A e B uma redução do número médio de dias de precipitação no ano, o qual, assumindo uma projeção conservativa das precipitações totais anuais, se deverá traduzir, no mínimo, por um incremento de 21% e 32% nas intensidades de precipitação, respectivamente (TABELA II).

TABELA II - Informações de base para a simulação de cenários de alterações climáticas.

TABLE II - Background information for simulating climate change scenarios.

Cenário	Período	Nº médio de dias de chuva/ano	Acréscimo na intensidade
Actual	Histórico (1996 – 2005)	99	-
A	2040 – 2070	82	21%
B	2071 – 2100	75	32%

Fonte/Source: Adaptado de EMAAC, 2016.

Resultados e discussão

Foram obtidos, através da aplicação do método SCS, os valores médios dos caudais de ponta (TABELA III), e analisados os seus respetivos desvios padrão por categoria e para períodos de retorno distintos (fig. 2).

TABELA III - Média de caudais de ponta por categoria de bacia.

TABLE III - Average peak flows per basin category.

Período de retorno (anos)	UcR ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	AcR ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	UsR ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	AsR ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)
2	3,1	4,5	0,3	0,1
10	10,3	13,5	1,2	0,2
50	19,0	23,8	2,3	0,5
100	23,7	29,3	2,9	0,7

Nota. UcR- Em uso e com rio; AcR- Abandonado e com rio; UsR- Em uso e sem rio; AsR- Abandonado e sem rio

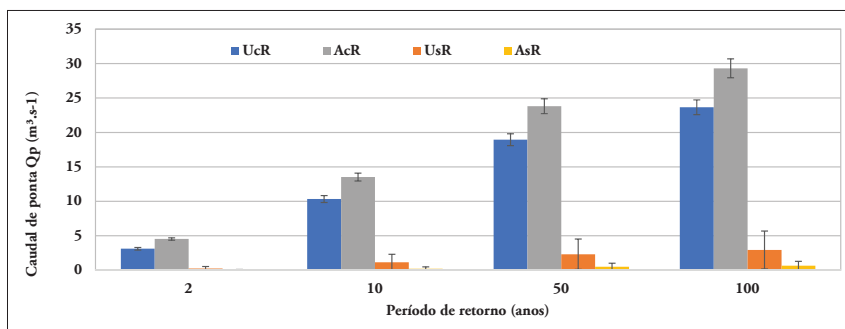


Fig. 2 – Médias dos caudais de ponta por categoria e períodos de retorno.

Fig. 2 – Average peak flow rates per category and return period.

Como esperado, o aumento nos caudais de ponta em todas as categorias de bacias com o período de retorno é menos do que proporcional a este. Contrastando os períodos de 2 a 100 anos, observa-se um incremento de $20,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ para bacias UcR, $24,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ para AcR, $2,7 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ para UsR e $0,6 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ para AsR nos caudais de ponta. Estes incrementos refletem o acréscimo nas intensidades das precipitações calculados com as curvas de possibilidade udométrica para os referidos períodos de retorno.

Para as categorias UsR e AsR, devido a grande diferença de extensão das áreas de drenagem entre as bacias, nota-se um elevado desvio padrão e coeficiente de variação acima de 100%, o que é recorrente em estudos hidrológicos envolvendo caudais e precipitações, de acordo com Naghettini *et al.* (2007). Já as categorias UcR e AcR apresentaram os maiores valores de caudais de ponta, uma vez que as médias globais das áreas dessas bacias são superiores comparadas às categorias sem rio (UsR e AsR), conforme a TABELA I apresenta.

Observa-se ainda que existe uma diferença de aumento expressiva de 12%, em média, nos caudais das bacias UcR quando comparados com as bacias AcR, em todos períodos de retorno. Em contrapartida, há uma diferença de diminuição no caudal entre as bacias UsR e AsR, a qual é de apenas 2%. Esse efeito de contradição de tendências pode ser justificado pela influência do número de escoamento, uma vez que a média dos caudais de ponta possuem suas variações de acordo o número adotado, ou seja, na categoria UcR para AcR há um aumento no número de escoamento, consequentemente um aumento no caudal médio. Já na categoria UsR para AsR há uma diminuição do número de escoamento, como também no caudal médio. Para além disso, pode-se considerar a interferência da área dos lameiros na dimensão das bacias, os quais são proporcionalmente maiores em bacias menores (UsR e AsR) e seu abandono impacta diretamente o número do escoamento (Caviedes-Voullième, 2012).

Para o efeito da simulação de cenários de mudanças climáticas quanto aos caudais de ponta das bacias hidrográficas, traduz-se os valores médios absolutos por categoria (TABELA IV e a fig. 3), sendo o cenário A: aumento de 21% nas intensidades das precipitações e o cenário B: aumento de 32% nas intensidades de precipitações.

TABELA IV - Média dos valores absolutos de caudais para os cenários A e B.

TABLE IV - Average of absolute peak flow values for scenarios A and B.

Período de retorno (anos)	Cenário	UcR ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	AcR ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	UsR ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	AsR ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)
2	A	5,11	7,09	0,51	0,09
	B	6,28	8,56	0,67	0,12
10	A	15	19,17	1,87	0,38
	B	17,61	22,29	2,28	0,5
50	A	26,28	32,46	3,48	0,82
	B	30,29	37,16	4,13	1,02
100	A	32,33	39,46	4,3	1,04
	B	37,04	44,95	5,06	1,29

Nota. UcR- Em uso e com rio; AcR- Abandonado e com rio; UsR- Em uso e sem rio; AsR- Abandonado e sem rio.

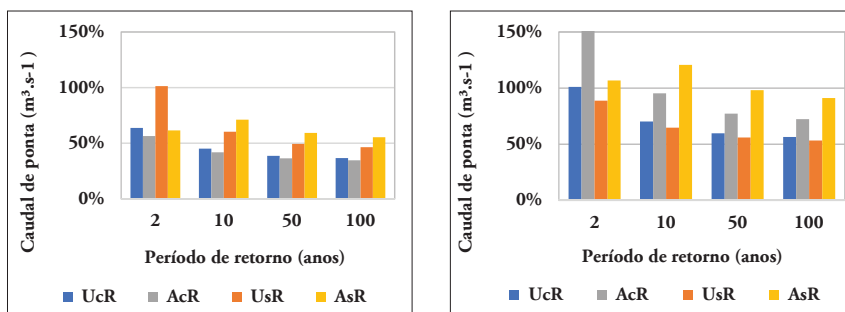


Fig. 3 - Médias de caudais de ponta por categoria e período de retorno:

A: Cenário com o aumento de 21% na intensidade das precipitações;

B: Cenário com o aumento de 32% na intensidade das precipitações.

Fig. 3 - Average peak flow rates by category and return period:

A: Scenario with 21% increase in rainfall intensity;

B: Scenario with a 32% increase in rainfall intensity.

Por meio da análise da fig. 3 e a TABELA IV, pode-se verificar que há um aumento nos caudais de ponta para todas categorias ao longo dos períodos de retorno, sendo um acréscimo global de 54 % para o cenário A até o ano de 2070 e 86% para o cenário B até o ano de 2100. Entre os períodos de retorno menores, como o de 2 anos, houve um crescimento médio global acentuado de 71% e 116% para os cenários A e B, respectivamente. Em contrapartida, nos períodos de retorno maiores, observa-se um decréscimo médio global em ambos os cenários.

Considerando as categorias UcR e AcR, nota-se que o acréscimo relativo global é menor (44% no cenário A e 87% no cenário B) comparados às categorias UsR e AsR que apresentaram um acréscimo relativo global de 63% no cenário A e no cenário B o resultado é ligeiramente inferior, cerca 85%. Essas relações não lineares foram também observadas em estudos de pequenas bacias do Mediterrâneo (López-Tarazón, 2010; Fortesa *et al.*, 2019), indicando que diferentes fatores condicionam as respostas hidrológicas e a intensidade da precipitação total é um fator impulsionador para essa complexidade nos resultados.

No contexto de condições de abandono dos lameiros, nas categorias AcR e AsR, observa-se um aumento mais expressivo nos caudais de ponta comparados às bacias que possuem lameiros em uso (UcR e UsR), com exceção no período de retorno de 2 anos no cenário B. Desse modo, conforme Nadal-Romero *et al.* (2016), o abandono de terras contribui para a geração de maiores caudais em eventos excepcionais se comparadas a bacias hidrográficas florestadas ou em uso. Ademais, o abandono e a degradação do solo podem promover e aumentar o escoamento superficial e o rendimento de sedimentos (Lesschen *et al.*, 2008).

Quanto ao cenário A, em todos os períodos de retorno, os acréscimos dos caudais de ponta são superiores nas categorias UsR e AsR relacionados às categorias UcR e AcR. Estes resultados podem indicar que as bacias de menor extensão sofrem maior influência das mudanças climáticas perante o aumento de intensidade das precipitações, evidenciando que pequenas bacias hidrográficas são uma ferramenta para uma melhor percepção em contextos de aumento da demanda de recursos hídricos (Burt *et al.*, 2015), mudanças no uso da terra e em projeções de alterações climáticas (Tetzlaff *et al.*, 2017).

Conclusão

Mediante às estimativas de caudais de ponta foi possível observar e compreender efeitos distintos entre as categorias das bacias hidrográficas relacionando condições de uso e abandono e da presença ou não de rio próximo aos lameiros. As categorias UsR e AsR, evidenciaram através da aplicação do método SCS, que o número de

escoamento e área do lameiro associada proporcionalmente à extensão da bacia são os fatores de maior influência nas respostas hidrológicas obtidas.

Nos cenários de mudanças climáticas, verificou-se que o aumento é mais expressivo nos caudais de ponta nas categorias em que os lameiros estão em condição de abandono. Nestas circunstâncias, os impactes negativos e riscos hidrológicos podem ser gerados através do aumento do escoamento superficial, consequentemente transporte de sedimentos e erosão do solo. Além disso, com o abandono dos lameiros, pode haver o favorecimento à degradação da paisagem, diminuição da biodiversidade, invasão de vegetação arbustiva que possibilita risco de incêndios.

Desse modo, a intervenção do Projeto HabMonte é de extrema importância para a manutenção dessas áreas de lameiros, principalmente para a prevenção dos riscos hidrológicos em que as pequenas bacias hidrográficas estão condicionadas e que podem impactar diretamente o PNM.

Bibliografia

- Azevedo, J., Cadavez, V., Arrobas, M., & Pires, J. (2016). *Sustentabilidade da montanha portuguesa: realidades*.
- Bertocco, T. (2020). *Caudais de ponta de cheia em bacias de drenagem de lameiros do Parque Natural de Montesinho: estimativas pelo método Soil Conservation Service (SCS) sob cenários de mudança global*. (Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental) Instituto Politécnico de Bragança e Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Bragança. 79 p.
- Burt, T. P., & McDonnell, J. J. (2015). Whither field hydrology? The need for discovery science and outrageous hydrological hypotheses. *Water Resources Research*, 51(8), 5919-5928.
- Caviedes-Voullième, D., García-Navarro, P., & Murillo, J. (2012). Influence of mesh structure on 2D full shallow water equations and SCS Curve Number simulation of rainfall/runoff events. *Journal of hydrology*, 448, 39-59.
- EMAAC (2016). *Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas – Município de Bragança*. Projeto ClimAdaPT.Local Câmara Municipal de Bragança. Disponível em: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=118&sub3ref=395> (acedido a 8/09/2020).
- Fortesa, J., Latron, J., García-Comendador, J., Tomàs-Burguera, M., Calsamiglia, A., & Estrany, J. (2020). Multiple temporal scales assessment in the hydrological response of small mediterranean-climate catchments. *Water*, 12(1), 299.
- Giandotti, M. (1953). *Considerazioni idrologiche sulle piene del Po: con speciale riguardo alla piena del novembre 1951* [a cura della Commissione d'organizzazione del Congresso presso il Consiglio superiore dei lavori pubblici in Roma]. Istituto poligrafico dello Stato.

- ICNF - INSTITUTO DA CONSERVAÇÃO DA NATUREZA E DAS FLORESTAS (2018). *Projeto de Prevenção Estrutural e Conservação de Habitats Naturais Protegidos e Espécies Prioritárias do Parque Natural de Montesinho - HabMonte*. Memória Descritiva.
- ICNF - INSTITUTO DA CONSERVAÇÃO DA NATUREZA E DAS FLORESTAS (2020). Classificação e Caracterização do Parque Natural de Montesinho. Consultado em 5 jul 2020. Disponível em <http://www2.icnf.pt/portal/ap/p-nat/pnm/geo>
- Lencastre, A., Franco, F. M. (2006). *Lições de Hidrologia*. 3ª ed. Lisboa: Universidade. 451p.
- Lesschen, J. P., Cammeraat, L. H., & Nieman, T. (2008). Erosion and terrace failure due to agricultural land abandonment in a semi-arid environment. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 33(10), 1574-1584.
- López-Tarazón, J. A., Batalla, R. J., Vericat, D., & Balasch, J. C. (2010). Rainfall, runoff and sediment transport relations in a mesoscale mountainous catchment: The River Isábena (Ebro basin). *Catena*, 82(1), 23-34.
- Matos, M. R. e Silva, M. H., (1986). Estudos de precipitação com aplicação no projecto de sistemas de drenagem pluvial. Curvas intensidade-duração-frequência da precipitação em Portugal. *Encontro Nacional de Saneamento Básico*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- McCuen, R. H. (1982). *A guide to hydrologic analysis using SCS methods*. Prentice-Hall, Inc..
- Moreira, F. D. (2017). *Protótipo do Atlas da Qualidade do solo e Cartografia da suscetibilidade à contaminação de solos*. Lisboa: Universidade de Lisboa. Relatório de Estágio.
- Nadal-Romero, E., Cammeraat, E., Serrano-Muela, M. P., Lana-Renault, N., & Regüés, D. (2016). Hydrological response of an afforested catchment in a Mediterranean humid mountain area: a comparative study with a natural forest. *Hydrological Processes*, 30(15), 2717-2733.
- Naghettini, M., Pinto, É. J. D. A. (2007). *Hidrologia estatística*. CPRM
- Okada, V. K., (2019). *Escoamentos fluviais e riscos hidrológicos em bacias de montanha do Parque Natural de Montesinho, NE de Portugal: variabilidade espacial e tendências temporais. (Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental)*. Instituto Politécnico de Bragança e Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Bragança. 102 p.
- Pereira, L. S., Sousa, V. S.(2005). Lameiros e prados de lima, uma paisagem das terras altas húmidas de Portugal. *V Seminário Internacional CYTED-XVII*. Un enfoque para la gestion sustentable del agua: Experiencias en zonas humedas.
- Ranzan, A.N. (2020). *Caracterização das bacias de drenagem dos lameiros da Alta Lomada e Onor, Parque Natural de Montesinho. (Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental)*. Instituto Politécnico de Bragança e Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Bragança. 102 p.
- SCS – SOIL CONSERVATION SERVICE (1956). Hydrology, National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10. *Soil Conservation Service, USDA*. Washington, DC.
- Temez, J. R. (1978). *Calculo hidrometeorológico de caudales maximos em pequenas cuencas naturales*. Madrid: Ministério de Obras Publicas y Urbanismo (MOPU). Direccion General de Carreteras, n. 12.
- Tetzlaff, D., Carey, S. K., McNamara, J. P., Laudon, H., & Soulsby, C. (2017). The essential value of long-term experimental data for hydrology and water management. *Water Resources Research*, 53(4), 2598-2604.

**TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS
CAUDAIS MÉDIOS DIÁRIOS EM BACIAS DE
MONTANHA DO NE DE PORTUGAL**
**TIME SERIES TRENDS OF DAILY AVERAGE FLOWS
IN MOUNTAIN RIVER WATERSHEDS IN
NORTH-EASTERN PORTUGAL**

Vinícius Kenzo Okada*

ORCID: 0000-0002-9637-0115
vkokada@gmail.com

Felícia Fonseca*

ORCID 0000-0001-7727-071X
ffonseca@ipb.pt

Tomás de Figueiredo*

ORCID: 0000-0001-7690-8996
tomasfig@ipb.pt

Maurício Moreira dos Santos**

ORCID: 0000-0002-5632-2020
mmsantos@utfpr.edu.br

*Instituto Politécnico de Bragança, CIMO
Escola Superior Agrária, Campus de Santa Apolónia (Portugal)

**Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Ambiental, Campus Londrina (Brasil)

Resumo: As zonas de montanha são de fulcral importância para o regime hidrológico das grandes bacias, designadamente quanto ao risco a que estão expostas as suas zonas baixas. A resposta hidrológica das bacias de montanha é muito variada em consequência das condições de relevo que determinam variabilidade espacial acentuada na precipitação. O presente trabalho tem por objetivo avaliar tendências de evolução temporal nas últimas décadas na resposta hidrológica de bacias de montanha dos rios Tuela, Sabor e Maçãs, situadas ao longo de um gradiente climático no NE de Portugal.

Por meio de dados hidrométricos registados durante 42 anos hidrológicos analisaram-se os escoamentos fluviais e os respetivos hidrogramas a fim de separar as componentes do escoamento (base e

direto) a essa escala temporal. Utilizou-se análise de regressão linear aplicada às séries cronológicas para avaliar as tendências de variação no caudal médio e suas componentes.

A incremento na aridez ao longo do gradiente climático estudado corresponde redução da proporção de escoamento de base no total, acentuado ao longo da série e significando tendência para o aumento do escoamento direto. Portanto, evidenciam-se acréscimos na severidade dos riscos hidrológicos (seca e cheia) nas últimas décadas, mais importantes nas bacias de menor precipitação.

Palavras-chave: Bacias de montanha, séries temporais, risco hidrológico.

Abstract: Mountain zones are of crucial importance in terms of the hydrological regime of the great basins, because of the risks to which their lowlands are exposed. Mountain watershed hydrological response is very varied as a result of the slope conditions which determine the precipitation variability. The present work aims to evaluate time series trends in the hydrological response of three mountain watersheds in the last few years. These watersheds are the Tuela river, Sabor river, and Maças river, located along a climatic gradient in north-eastern Portugal.

Hydrometric data recorded during 42 hydrological years made it possible to analyse the river discharges and their respective hydrographs and then separate the components of the runoff (direct flow and baseflow) at this time scale. Linear regression analysis was applied to time series to assess trends in variation of the average runoff and its components.

The increase in aridity along the climatic gradient corresponds to a reduction in the proportion of the baseflow as part of the total runoff, intensified throughout the series and indicating a trend for an increase in direct flow. Therefore, increases in the severity of hydrological risks (drought and flood) were found to occur in recent decades, and they were more important in watersheds with less rainfall.

Keywords: Mountain watershed, time series, hydrological risks.

Introdução

A região mediterrânica, na qual está inserido o território continental português, é considerada uma das zonas onde são mais evidentes as alterações climáticas, com alterações na temperatura e na precipitação e ocorrência mais frequente de eventos climáticos excepcionais (Nunes, 2016). A representar cerca de 40% do território transmontano, NE de Portugal, as zonas de montanha exercem papel crucial para o regime hidrológico das bacias hidrográficas, no que se refere a disponibilidade hídrica e ao risco hidrológico a exercer em suas zonas a jusante (Aguiar *et al.*, 2009 e Pereira *et al.*, 2004).

A resposta hidrológica das bacias de montanha é muito diversificada sendo resultante da interação da sua complexa fisiografia e a circulação geral da atmosfera se traduzindo em uma variabilidade espacial acentuada no regime climático, em particular na precipitação (Gonçalves, 2016).

Segundo Bronstert (2004) para estudo das mudanças climáticas, no contexto hidrológico, deve-se investigar a interação e evolução temporal do uso e ocupação do solo com o regime climático. Essa interação pode ser representada através de modelos de escoamento superficial.

Deste modo, a análise de séries longas de escoamentos fluviais pode permitir identificar tendências de evolução temporal, com consequências propagáveis para as zonas baixas das grandes bacias. Nesta análise deve-se destacar, com grande relevância, a separação dos escoamentos de base e direto, em virtude do escoamento global mascarar possíveis variações de diferente sentido em cada uma das suas componentes.

O presente estudo visa avaliar o efeito de um gradiente climático na resposta hidrológica de bacias hidrográficas de montanha e as suas tendências de evolução temporal nas últimas décadas, sendo analisadas três bacias contíguas do Parque Natural de Montesinho, NE de Portugal, zona de montanha de elevado valor socioambiental e exposta a ameaças aos seus recursos fundamentais: solo e água (Castro *et al.*, 2010)

Material e métodos

Localização da área de estudo

Três bacias hidrográficas foram tomadas como objeto de estudo, sendo definidas pelas secções das estações hidrométricas de Ponte Pinelo (rio Maças), Vinhais Quinta-Ranca (Rio Tuela) e Gimonde (rio Sabor). Estas bacias representam as cabeceiras de alguns dos principais afluentes da margem direita do rio Douro, o rio Sabor e o rio Tua, para os quais drenam, respetivamente, Maças e Tuela. Encontram-se sob influência de um gradiente climático, de mais húmido a oeste a mais árido a leste. Situam-se no NE de Portugal e em parte em território espanhol, cobrindo também parcialmente a área do Parque Natural de Montesinho (fig. 1).

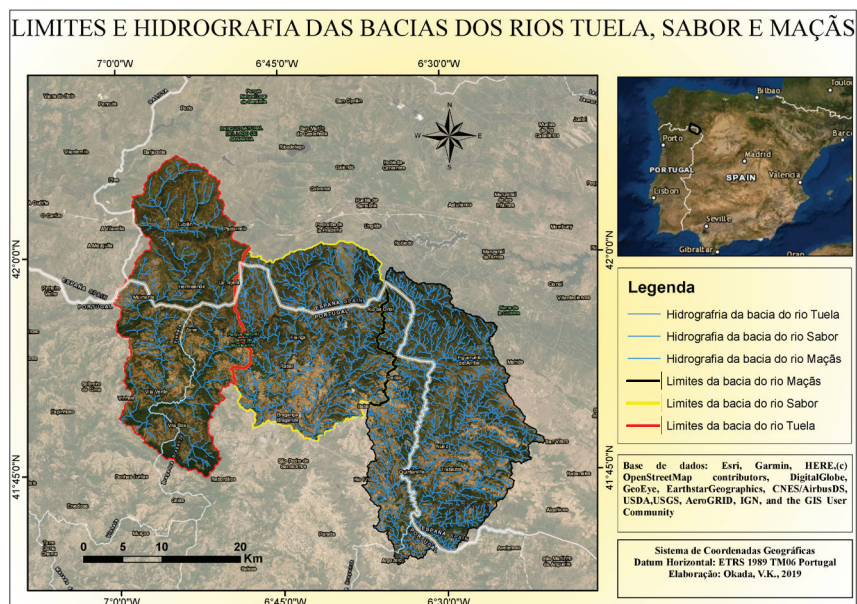


Fig. 1 - Localização da área de estudo (Fonte: Okada, 2019).

Fig. 1 - Study Area (Source: Okada, 2019).

As bacias não diferem substancialmente quanto a área, perímetro, coeficiente de compacidade, fator forma e declividade, mas apresentam diferenças sensíveis

em características determinantes da sua resposta hidrológica, como a precipitação média anual e a altitude média (TABELA I) as quais diminuem de oeste para leste, acentuando o gradiente climático nessa direção (Okada, 2019).

TABELA I - Dimensões e características das bacias hidrográficas estudadas.

TABLE I - Studied Watersheds: Dimension and characteristics.

Parâmetros	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação)		
	Tuela – Vinhais Quinta Ranca	Sabor – Gimonde	Maçãs – Ponte e Pinelo
Área (km ²)	478	407	530
Perímetro (km)	126	127	161
Coefficiente de Compacidade (kc)	1,63	1,78	1,98
Fator Forma (km ² /km ²)	0,39	0,61	0,37
Declive médio (°)	13	12	11
Altitude média (m)	1039	853	766

Fonte/Source: Okada, 2019.

Tratamento dos dados hidrológicos

O estudo utilizou séries cronológicas de caudal médio diário, livremente disponíveis no *website* do Sistema Nacional de Informação em Recursos Hídricos (SNIRH), para o período mais amplo de registo comum de dados nas três estações (de 1967/68 a 2010/11, 42 anos hidrológicos).

O processo para separação das componentes do escoamento fluvial (escoamento direto e escoamento de base) está descrito detalhadamente em Okada (2019). Em suma, o mesmo assume que, para cada ano hidrológico, a média dos caudais médios diários no início de cada curva de ascensão (fig. 2) dos hidrogramas registados reproduz o caudal de base médio diário do ano (Qbase médio). Sendo o caudal de base diário (Qbase dia) uma fração variável do caudal médio diário (Qtotal dia), para o cálculo do primeiro o Qtotal dia é afetado por um fator (f), representando a dita fração. Este fator é obtido por otimização para cada ano hidrológico, respeitando as condições (Somatórios referem-se ao ano hidrológico com N dias):

$$N \text{ Qbase médio} = \sum \text{Qbase dia} = \sum f \text{ Qtotal dia}; \text{ sendo } \text{Qbase dia} \leq \text{Qtotal dia}.$$

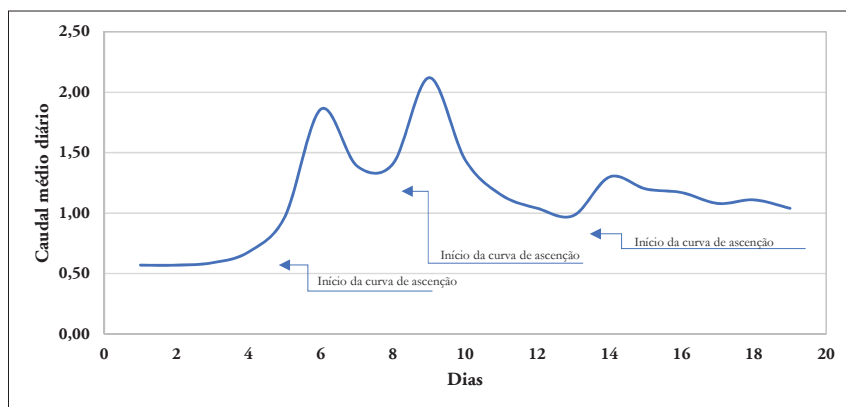


Fig. 2 - Hidrograma: representação das curvas de ascensão.

Fig. 2 - Hydrograph: Rising curves representation.

As séries de caudal total, de base e direto diário (m^3/s), também representadas em caudal específico ($\text{l/s}/\text{km}^2$) e altura equivalente (mm) para possibilitar a comparação de resultados entre bacias (Lencastre e Franco, 2006), foram submetidas a tratamento estatístico. As estatísticas descritivas das séries permitiram a comparação entre as três bacias quanto às componentes dos escoamentos. Para além disso, foi realizada a avaliação de tendência temporal de cada uma das componentes ao longo do período analisado, aplicando análise de regressão linear.

Tratamento de dados de precipitação

Por se tratar de bacias transfronteiriças, parte dos cursos de água estão em território espanhol. Os dados de precipitação, dispostos em arquivo *shapefile* em *layer* de pontos, foram obtidos no *website* do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) e no *website* do Instituto Tecnológico Agrário da Junta de Castilla e León em Atlas Agroclimático, para os anos de 1981 a 2000. Este período corresponde à sobreposição dos trinténios mais recentes disponíveis nas duas fontes (1971-2000 em Portugal e 1981-2010 em Espanha). Por outro lado, é praticamente central nas séries de registo de caudal tratadas.

Criada a *layer* de pontos de precipitação, mediante compatibilização das duas fontes de informação, foi a mesma recortada pelos limites das três bacias hidrográficas. Tal permitiu obter os valores médios de precipitação anual de cada bacia hidrográfica.

Os dados de precipitação média sobre as bacias permitiram calcular coeficientes de escoamento (razão entre escoamento e precipitação), e suportaram a interpretação das variações nos caudais médios diários de base e total ao longo do gradiente climático prevalecente na região.

Resultados

Gradiente climático: Relevo, precipitação e escoamento

A heterogeneidade do relevo das bacias estudadas condiciona naturalmente a distribuição espacial da precipitação (Gonçalves *et al.*, 2016). A variação da precipitação acompanha a da altitude, sendo ambas mais elevadas a oeste e decrescendo progressivamente para leste (TABELA II). A correlação entre as duas variáveis é forte (muito próximo de significativa) e o gradiente de precipitação, para a fraja de altitudes e localização no território das bacias estudadas, é próximo de 190 mm / 100 m de variação de altitude (ver coeficiente da regressão linear $y = 1,8673x - 624,27$; $R^2 = 0,9917$; $p = 0,05794$; y – precipitação média anual sobre a bacia, mm; x – altitude média da bacia, m). Este gradiente é concordante com os efeitos do relevo e da continentalidade na distribuição das precipitações nesta região (Gonçalves, 1985; Figueiredo e Gonçalves, 1991; Gonçalves, 2016).

TABELA II - Altitude e precipitação médias das bacias estudadas.

TABLE II - Average slope and rainfall of the watersheds.

Parâmetros	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação)		
	Tuela – Vinhais Quinta Ranca	Sabor – Gimonde	Maçãs – Ponte e Pinelo
Altitude média (m)	1039	853	766
Precipitação média anual (mm)	1307,25	995,36	787,75

Com comportamento similar ao gradiente de precipitação, os escoamentos médios anuais total e de base das três bacias são superiores a oeste e diminuem em direção a leste (fig. 3). Os coeficientes de escoamento foram de 0,58, para bacia do Tuela, de 0,51 para a do Sabor e de 0,33 para a do Maças, apresentando, portanto, um decréscimo acentuado ao longo do gradiente de precipitação. A mesma tendência se verifica na razão Q_{base}/Q_{total} , com 0,78 (Tuela), 0,71 (Sabor) e 0,67 (Maças). No caso do escoamento direto, encontram-se naturalmente valores complementares para 1 e variação de sentido inverso ao mencionado para o escoamento de base, a significar que a proporção de escoamento direto no escoamento fluvial total é crescente com a aridez.

Observa-se, portanto, a influência do gradiente climático nas respostas hidrológicas das bacias estudadas, sendo mais húmidas e mais produtivas a oeste e mais áridas, menos produtivas e com maior torrencialidade a leste.

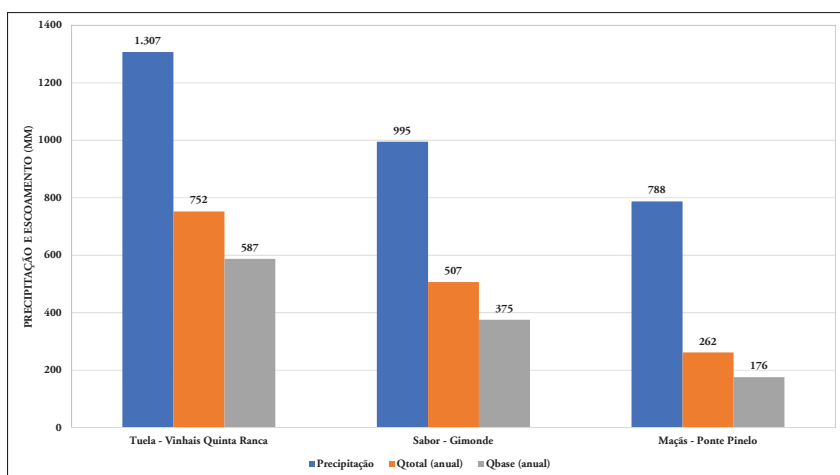


Fig. 3 - Precipitação, Escoamento (Q_{total}) e Escoamento de base (Q_{Base}) nas bacias hidrográficas estudadas.

Fig. 3 - Rainfall, Runoff, and Baseflow of the studied Watersheds.

Discorrendo sobre os caudais extremos (fig. 4), máximo e mínimo, de caudais específicos direto e de base, respetivamente, percebe-se que o caudal direto máximo anual é maior a oeste e decresce gradualmente em direção a leste de forma a

acompanhar o gradiente climático, úmido a oeste a tornar-se árido em direção a leste. Por outro lado, observando o caudal de base mínimo anual decresce da bacia do rio Tuela para bacia do rio Sabor, entretanto, volta a subir em direção a bacia do rio Maçãs, dessa maneira, os caudais de base mínimos não acompanham o gradiente climático presente na região.

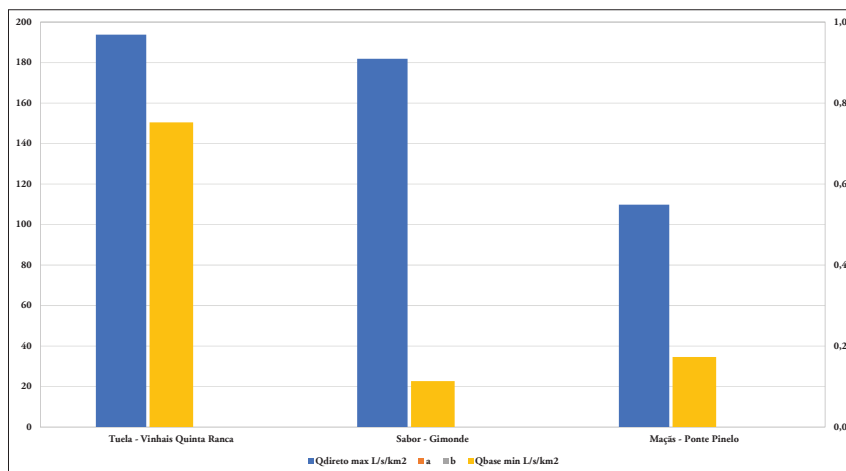


Fig. 4 - Caudais Específicos extremos, máximo direto e mínimo de base, nas bacias estudadas.

Fig. 4 - Specific discharge extremes (maximum direct flow and minimum baseflow), in the studied watersheds.

As relações entre as variáveis analisadas nas três bacias (TABELA III) mostra o coeficiente de correlação de Pearson e o p-value para cada relação (TABELA V). De acordo com as tabelas se observa forte correlação entre escoamento de base vs. escoamento total, escoamento direto vs. escoamento total e precipitação vs. altitude, tendo a primeira relação o valor de p-value menor que alfa de 0,05 e os demais com p-value próximo a 0,05.

As fortes correlações também podem ser observadas pelo coeficiente de determinação e a proporcionalidade entre essas variáveis no declive da reta de regressão (fig. 5).

TABELA III - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas.

TABLE III - Pearson's correlation coefficient for the studied variables.

Variáveis	Precipitação	Qtotal (anual)	Qbase (anual)	Qdireto (anual)	Altitude	Coeficiente de escoamento
Precipitação	1,000					
Qtotal (anual)	0,993	1,000				
Qbase (anual)	0,995	0,999	1,000			
Qdireto (anual)	0,979	0,996	0,994	1,000		
Altitude	0,996	0,979	0,982	0,957	1,000	
Coeficiente de escoamento	0,934	0,969	0,965	0,987	0,898	1,000

TABELA IV - Significância da correlação entre as variáveis estudadas (valores de p).

TABLE IV - p-value of correlation for the studied variables.

Variáveis	Precipitação	Qtotal (anual)	Qbase (anual)	Qdireto (anual)	Altitude	Coeficiente de escoamento
Precipitação						
Qtotal (anual)	0,0731					
Qbase (anual)	0,0622	0,0109				
Qdireto (anual)	0,1298	0,0567	0,0676			
Altitude	0,0579	0,1311	0,1202	0,1877		
Coeficiente de escoamento	0,2318	0,1587	0,1696	0,1020	0,2898	

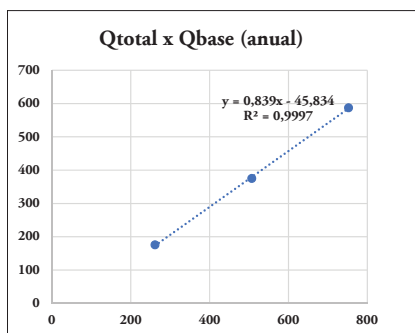
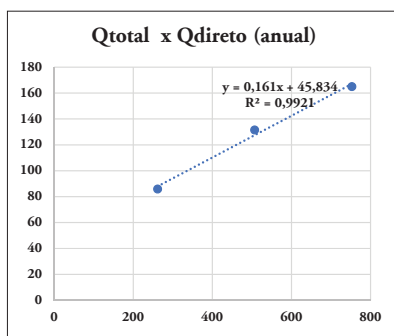
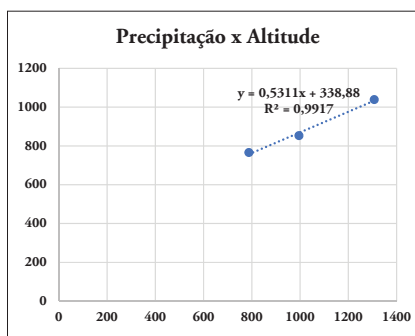


Fig. 5 - Relação entre os valores médios das variáveis estudadas (equação das retas de regressão apresentadas no gráfico): A – Escoamento de base médio vs. Escoamento total médio; B – Escoamento direto médio vs. Escoamento total médio; C – Precipitação vs. Altitude.

Fig. 5 – Relationship between the average values of the studied variables (Regression Line Equation is shown in the graph): A - Average Baseflow against Average Runoff; B - Average Direct Runoff against Average Runoff; C - Rainfall against Altitude.

Tendências de Evolução temporal dos caudais

A tendência de evolução temporal dos caudais médios anuais, obtida pela análise do coeficiente da equação de regressão da reta de tendência temporal de variação dos escoamentos anuais para o período estudado (fig. 6), indica comportamento similar nas bacias do Sabor e do Maçãs e diferenciado na do Tuela (TABELA V). Portanto, observa-se tendência de decréscimo do escoamento total na bacia do rio Tuela (-1,67 mm/ano) e de aumento nas bacias do rio Sabor (+1,49) e rio Maçãs (+1,74), a demonstrar relação positiva com a aridez.

TABELA V - Variação média anual dos escoamentos médios anuais no período de 42 anos hidrológicos nas três bacias hidrográficas estudadas.

TABLE V - Annual average change of the Annual Average Flow for the period of 42 hydrological years in the three watersheds studied.

Caudais	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela – Vinhais Quinta Ranca	Sabor – Gimonde	Maçãs – Ponte e Pinelo
<i>Taxas de variação média anual em mm/ano</i>			
Qtotal	-1,67	+1,49	+1,74
Qbase	-2,39	-0,33	-0,30
Qdireto	0,72	1,83	2,04

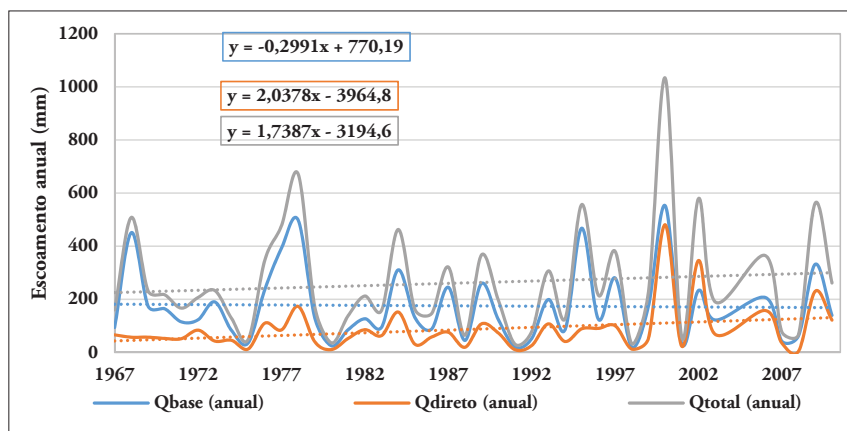


Fig. 6 - Tendências de variação das séries temporais de escoamento anual (de base, direto e total): exemplo da bacia do rio Maçãs.

Fig. 6 - Variation trends in Annual Runoff time series for the Maçãs river basin.

Abordando os elementos, caudais de base e direto, os comportamentos são semelhantes, diferenciando apenas no grau de intensidade da variação, negativo no caudal de base com valor mais expressivo no rio Tuela, -2,39 mm/ano, e positivo no caudal direto sendo mais expressivo na bacia do rio Maças+2,04 mm/ano.

Portanto, a ponto de vista hidrológico, ocorre um declínio na recarga e na disponibilidade hídrica subterrânea, traduzindo-se em maiores riscos de secas, e acréscimo no escoamento direto, ocasionando maiores riscos de cheias.

Estudaram-se ainda as tendências de evolução temporal para caudais específicos extremos (máximo para direto e mínimo para base) (TABELA VI), no sentido de melhor compreender as variações dos extremos de caudal ao longo do período temporal analisado.

Abordando-se os extremos, o caudal direto específico máximo tende a aumentar em todas as bacias com os respetivos valores, +0,187 $\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}\text{ano}^{-1}$ (Tuela), +2,286 (Sabor) e +2,890 (Maças). Já, para o caudal de base específico mínimo tende a diminuir em todas as bacias seguindo os respetivos valores, -0,078 (Sabor) $\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}\text{ano}^{-1}$, -0,005 (Tuela) e -0,007 (Maças).

Discorrendo sobre riscos hidrológicos, cheias e secas, remete-se aos extremos dos caudais direto e de base específicos, máximo e mínimo, respectivamente. Por conseguinte, há tendência que com o aumento dos máximos de escoamentos específicos diretos ocorra a intensificação dos eventos de cheias, por outro lado com o decréscimo do mínimo do escoamento de base os eventos de seca hidrológica tendem a se acentuarem.

TABELA VI - Variação média anual dos caudais específicos médios no período de 42 anos hidrológicos nas três bacias hidrográficas estudadas

TABLE VI - Annual average variation of the Average Specific Flow for the period of 42 hydrological years in the three watersheds studied.

Caudais	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela – Vinhais Quinta Ranca	Sabor – Gimonde	Maças – Ponte e Pinelo
<i>Taxas de variação média anual em $\text{ls}^{-1}\text{km}^{-2}\text{ano}^{-1}$</i>			
Qdireto específico máximo	+0,187	+2,286	+2,890
Qbase específico mínimo	-0,078	-0,005	-0,007

Breves apontamentos de discussão

Estudo realizado em outra bacia de montanha localizada na Serra da Estrela, Zona Centro de Portugal, cita valores de escoamento superficial na ordem de 1613 mm/ano para precipitação média anual de 2336 mm/ano (Marques *et al.*, 2010). Portanto, a título de comparação do trabalho realizado por Marques *et al.* (2010), o escoamento superficial na bacia do rio Zêzere (Serra da Estrela) equivale a 69% da precipitação média anual da região enquanto nas bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs representam, respetivamente, 58%, 51% e 33%, indicando relação de aumento do escoamento superficial com aumento de humidade e altitude mesmo estando em outra localização do país.

Ainda tratando-se de bacias de montanha de Portugal, o trabalho realizado por Nunes (2016) estudou processos hidrológicos e alterações climáticas nas serras de Caldeirão, com precipitação média anual de 825 mm, e de Loures e Montejunto, com precipitação média anual de 889 mm, indicando que o aumento de aridez afeta negativamente o caudal de base. Isso é observado também nas bacias de montanha do NE de Portugal tomadas como objeto deste estudo, ou seja, a mais úmida a oeste tem escoamento de base médio anual de 587 mm representando 45 % da precipitação média total anual, enquanto a bacia mais árida a leste possui escoamento de base médio anual de 176 mm representando 22% da precipitação média total anual.

As tendências de evolução temporal do escoamento não foram objeto de avaliação nos estudos mencionados, o que não permite estabelecer comparações com os resultados do presente estudo. Todavia, as tendências regionais de evolução do regime de precipitações apontam em sentido idêntico ao encontrado nas 3 bacias estudadas quanto aos caudais. De facto, analisando séries longas de precipitação na Região NE de Portugal, Royer (2019) e Royer *et al.* (2021) encontraram também um acentuar dos extremos desta variável no trinténio mais recente com informação livremente disponível.

Conclusão

A análise da resposta hidrológica nas três bacias de montanha mostra que a produtividade responde menos que proporcionalmente ao gradiente climático presente na região. Contudo, evidenciou-se o decréscimo tanto dos caudais como dos coeficientes de escoamento (valores médios) com a redução da precipitação, a significar caudais abaixo do expectável quando se considera somente a variação espacial das precipitações na região.

Para além disso, os resultados sugerem que o potencial de recarga subterrânea está diminuindo nas três bacias hidrográficas, ou seja, não se traduzindo em maior proporção do escoamento de base, a gerar hipótese do acréscimo da transferência de água do solo para atmosfera através da evapotranspiração e/ou na influência do uso e ocupação do solo de modo a gerar mais escoamento direto. De forma contrária, é evidente pelos resultados um aumento relativo do escoamento direto com o aumento da aridez. Deste modo, nas bacias mais secas haverá maior propensão para o risco hidrológicos, tanto associado à escassez de água (seca) quanto ao excesso (cheia).

Ao se referir ao cenário integral dos caudais anuais a tendência é haver o decréscimo do potencial hídrico na bacia do rio Tuela e acréscimo nas bacias do rio Sabor e Maçãs. Toda via, as tendências nas componentes do escoamento são similares, diferindo apenas na intensidade de variação, para as três bacias: decréscimo do caudal de base anual e acréscimo do caudal direto anual.

Ao se referir as tendências dos caudais totais no período de análise constata-se, comportamentos a diferir na bacia do rio Tuela, decrescente, e a se assemelhar nas bacias do rio Sabor e Maçãs, crescente. Todavia, assemelham-se nas suas componentes: decrescente no escoamento de base e crescente no escoamento direto. Neste último, a taxa de variação aumenta em conformidade com o aumento da aridez.

É concluído, portanto, que as tendências identificadas ao longo das últimas décadas apontam para a intensificação das condições de risco hidrológico, com mais expressivos os episódios excepcionais em bacias de montanha com maior aridez.

Bibliografia

- Aguiar, C., Rodrigues, O., Azevedo, J., Domingos, T. (2009). *Ecossistemas e Bem-Estar Humano: avaliação para Portugal do Millenium Ecosystem Assentment*. Lisboa: Escolar Editora, Montanha, 293-337.
- Bronstert, A. (2004). Rainfall – Runoff Modelling for Assessing Impacts of Climate and Land Use Change. *Hydrological Processes*, 18, 3, 567-570.
- Castro, J., Figueiredo, T. de, Fonseca, F., Castro, J. P., Nobre, S., Pires, L. C. (2010). Montesinho Natural Park: general description and natural values. In Evelpidou, N., Figueiredo, T., Mauro, F., Tecim, V., Vassilopoulos, A. (eds) *Natural Heritage from East to West: case studies from 6 EU Countries*. New York: Springer, 119-132.
- Figueiredo, T. de & Gonçalves, D. (1990). A Erosividade da Precipitação no Interior de Trás-os-Montes: distribuição espacial do factor R da Equação Universal de Perda de Solo estimado por modelo de Arnoldus. *Pedon*, 9, 136-161.
- Gonçalves, D. A. (1985). *Contribuição para o estudo do clima da Bacia Superior do Rio Sabor. (Influência da circulação geral e regional na estrutura da Baixa Atmosfera) (Dissertação de doutoramento)*. Vila Real, Instituto Universitário de Trás-os-Montes e Alto Douro, 510 p.
- Gonçalves, D. A., Figueiredo, T. de., Ribeiro, A. C., Leite, S. M. (2016) A geografia e o clima das montanhas ibéricas. In *Sustentabilidade da montanha portuguesa: realidades e desafios*. Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, Cap 2, 9-38.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA -IPMA. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/produtoseservicos/index.jsp?page=dataset.pt02.xml>
- INSTITUTO TECNOLÓGICO AGRARIO DE JUTA DE CASTILLA Y LEON - ITACyL. Disponível em: <http://atlas.itacyl.es/>
- Lencastre, A., Franco, F. M. (2006) *Lições de Hidrologia*. 3ª ed. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Marques, J. E., Samper, J., Pisani, B., Alvares, D., Carvalho, J. M., Chaminé, H. I., Marques, J. M., Vieira, G. T., Mora, C., Borges, F. S (2010) Evaluation of water resources in a high-mountain basin in Serra da Estrela, Central Portugal, using a semi-distributed hydrological model. *Environ Earth Sci* 62, 1219-1234. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0610-7>
- Nunes, J. P. C. (2016). Sustentabilidade da Montanha Portuguesa: realidades e desafios. *Processos Hidrológicos em montanhas e alterações climáticas*, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, ISBN 978-972-745-220-0, 91-106.
- Okada, V. K. (2019) *Escoamentos Fluviais e Riscos Hidrológicos em Bacias de Montanha do Parque Natual de Montesinho, NE de Portugal: Variabilidade Espacial e Tendências Temporais (Tese de Mestrado em Tecnologia Ambiental)*. Instituto Politécnico de Bragança.
- Pereira, H. M., Domingos, T. e Vicente, L. (Eds.) (2004). *Portugal Millennium Ecosystem Assessment: State of the Assessment Report*. Lisboa, Centro de Biologia Ambiental, Faculdade de Ciencias da Universidade de Lisboa, 68 p.
- Royer, A. C. (2019). *Caracterização e efeitos dos períodos de seca e da aridez na suscetibilidade do solo à erosão hídrica no nordeste de Portugal (Tese de Mestrado em Tecnologia Ambiental)*. Instituto Politécnico de Bragança.
- Royer, A. C., Figueiredo, T., Fonseca, F., Schütz, F. C. A., Hernández, Z. (2021). Trends of change in precipitation and in drought susceptibility as assessed by the Standardized Precipitation Index (SPI) in northeast Portugal. *Territorium - International Journal of Risks*, 28 (II), 13-26.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_28-2_2
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - SNIRH) Dados de base – Monitorização. Disponível em: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>

**A VALA DE ALPIARÇA E O RISCO DE INUNDAÇÃO
EM ALMEIRIM**
**THE ALPIARÇA DITCH AND THE FLOOD RISK
IN ALMEIRIM**

Samuel Rodrigues Tomé

Universidade de Coimbra
Faculdade de Letras, Departamento de Geografia e Turismo (Portugal)
ORCID: 0000-0001-6654-5917 samuel.formacao@gmail.com

Luciano Lourenço

Universidade de Coimbra, NICIF, CEGOT e RISCOS
Faculdade de Letras, Departamento de Geografia e Turismo (Portugal)
ORCID: 0000-0002-2017-0854 luciano@uc.pt

Resumo: O Homem desde cedo se fixou no leito maior dos rios, por serem terrenos férteis. No entanto, essa presença vai acarretar-lhe riscos, dos quais o de inundação fluvial é um dos mais substanciais. No caso em estudo, encontramos Almeirim na margem esquerda da Vala de Alpiarça, um afluente do Rio Tejo. Ao olharmos para as inundações fluviais num período de tempo superior a um século, percebemos que a construção de barragens teve um impacte significativo na sua redução, tanto em termos de periodicidade como de altura hidrométrica. Depois de uma visão mais holística, lançamos um olhar a quatro episódios de inundações muito marcantes em Almeirim, duas delas com caudal natural, ou seja, antes da interferência das barragens (1909 e 1935-36) e duas posteriores à construção desses aproveitamentos hidráulicos e à sua influência no caudal do Rio Tejo (1979 e 1989).

Palavras-chave: Almeirim, inundação fluvial, risco, Vala de Alpiarça.

Abstract: From the earliest times humans have settled on the largest river bed/plain since the land is fertile. However this presence will entail risks such as the river flooding (the most substantial one). In this particular study we find Almeirim on the left bank of Vala de Alpiarça (a tributary of the River Tagus). When looking at river floods over a period of more than a century we realise that the construction of dams had a significant impact on reducing floods in terms of both frequency and hydrometric height. After a more holistic view we take a look at four episodes of very remarkable flooding in Almeirim. Two occurred before the intrusion of the dams (1909 and 1935-36) and other two after their influence affected the flow of the River Tagus (1979 and 1989).

Keywords: Almeirim, river flood, risk, Vala de Alpiarça.

Introdução

A Vala de Alpiarça, na sua passagem junto a Almeirim, acarreta, enquanto linha de água, risco de inundação para a população desta cidade.

Deste modo, o objetivo deste trabalho visa o estudo das inundações em Almeirim, mais especificamente das inundações provocadas pela Vala de Alpiarça, que podem manifestar-se de forma sequencial, envolvendo três situações distintas. Em primeiro lugar, temos a inundação dos campos agrícolas; em segundo lugar, ocorre a submersão de algumas vias rodoviárias, nomeadamente a Estrada Nacional 114, que liga Almeirim a Santarém; por fim, regista-se a inundação de áreas habitacionais de Almeirim, nomeadamente na Pontinha e no Bairro de S. Roque, tendo como causa direta a existência de cheias na Vala de Alpiarça, e, por vezes, o Bairro da Tróia também fica em risco, desta feita com a inundação a ser provocada pelo Vale Virgo, um afluente da Vala de Alpiarça, como se verá adiante.

A metodologia seguida passou por efetuar um conjunto de pesquisas tanto em monografias sobre a história local e livros de memórias, como, sobretudo, em periódicos, e que se mostrou essencial, tendo-nos deslocado aos arquivos

do semanário “Correio do Ribatejo” e do quinzenário “O Almeirinese”, para pesquisar informação sobre as inundações de fevereiro de 1979 e de dezembro de 1989. Paralelamente a isto, tornou-se de especial relevância a pesquisa de dados da precipitação e dos níveis hidrométricos que a água atingiu durante as inundações, os quais foram recolhidos da página online do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). Em relação a estes dados utilizámos, sempre que possível, os da Estação Hidrométrica de Almeirim. Quando estes não estiveram disponíveis, foram utilizados os de uma estação próxima (Ponte de Santarém ou Ómnias), situada no rio Tejo.

As fontes orais também foram importantes para a realização desta investigação. Com efeito, além de nos darem o nível da inundação, alguns cidadãos, pelo papel que desempenharam à época ou posteriormente, designadamente um bombeiro, uma auxiliar do hospital e uma vereadora, souberam dar-nos várias informações que foram de grande utilidade por ultrapassarem o conhecimento da generalidade dos residentes numa zona inundável.

No que toca à delimitação geográfica da área de estudo, tendo em conta que pretendemos perceber de que modo o risco de inundação afeta a população de Almeirim, importa considerar, em primeiro lugar, a bacia hidrográfica que recebe a água da chuva e se concentra na Vala de Alpiarça, e, depois, analisar o espaço urbano, sobretudo a malha urbana mais próxima às linhas de água, por ser, por esse facto, a mais vulnerável.

A Vala de Alpiarça é um curso de água artificial, que resultou do aproveitamento de dois outros que se desenvolviam no campo de Almeirim no início do Séc. XIX. Junto à, então, vila de Almeirim existia uma linha de água, que Pais (2005) menciona ser o Ribeiro de Vale Peixe ou o Ribeiro do Alpiarçoilo, conhecido nessa época como “[...] *um dos mais preguiçosos e insalubres riachos dos campos de Almeirim*” (Guerra *apud* Pais, 2005: 268), assim como uma “Vala d’Alpiarça”, que não seria exatamente a Vala de Alpiarça que conhecemos hoje. Um projeto de engenharia hidráulica, que se desenvolveu ao longo da segunda metade do séc. XIX, permitiu que estas linhas de água passassem a dar lugar a, apenas, uma, com condições de regadio e navegabilidade, permitindo o desenvolvimento da atividade agrícola e o escoamento, por meio fluvial, dos produtos resultantes desta atividade económica.

A Vala de Alpiarça faz, assim, parte da Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, sendo seu afluente na margem esquerda, e resulta da confluência de duas linhas de água: a Ribeira de Ulme e a Ribeira do Vale do Marquês, junto à Quinta da Lagoalva de Cima, perto do lugar de Vale de Cavalos (Concelho da Chamusca). Tem um curso de cerca de 37,5 Km de extensão (Pais, 2005) e conflui com o Rio Tejo no lugar do Porto Sabugueiro, junto ao limite administrativo dos concelhos de Almeirim e Salvaterra de Magos (fig. 1).

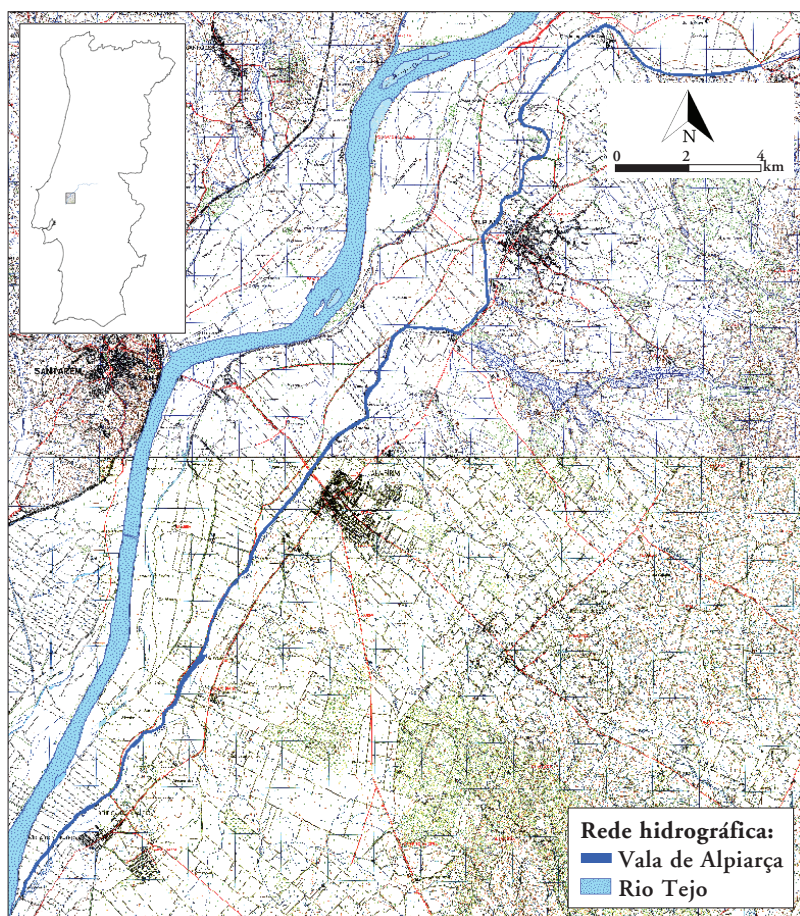


Fig. 1 - Localização do curso da Vala de Alpiarça

(Fonte: Adaptada da Carta Militar de Portugal 1/25000, Folhas 352, 353, 364 e 365).

Fig. 1 - Course of the Vala de Alpiarça

(Source: Adapted from the Military Map of Portugal 1/25000, Sheets 352, 353, 364 and 365).

A Vala de Alpiarça é um curso de água que corre sempre junto ao Rio Tejo, razão pela qual foram vários os projetos de regadio para desvio de água deste rio para a vala, uma vez que, em alguns pontos, estes dois cursos de água chegam a distar menos de 1km. O ponto em que eles se encontram mais distantes será precisamente na área de Almeirim, que nos encontramos a abordar, onde estão a cerca de 3,5 km em linha reta.

As áreas urbanas inundáveis na cidade de Almeirim correspondem à Rua dos Apóstolos, Pontinha e Bairro de S. Roque, que se desenvolvem no sentido noroeste-sudeste, sendo paralelas à Vala de Alpiarça, e, na parte sudoeste da cidade, o Bairro da Tróia que é atravessado pelo Vale Virgo.

Contudo, não podemos deixar de ter em consideração que a existência de inundações no espaço urbano será a última consequência da manifestação deste risco, pois muito antes da água o atingir já deixou submerso o campo de Almeirim e várias estradas, rurais ou nacionais, impedindo as deslocações de pessoas e bens, causando eventualmente destruição de culturas.

Assim, além do espaço urbano, a área de estudo inclui a principal via de ligação ao lugar da Tapada e a Santarém (a Estrada Nacional 114), bem como considera uma parte substancial do campo de Almeirim (fig. 2), que se estendendo-se para fora da cidade, em direção a noroeste, até ao ponto onde a Estrada Nacional 114 inflete para oés-nordeste.

A escolha deste ponto resulta de uma entrevista, reproduzida no jornal “O Mirante”, de 19 de fevereiro de 2014, feita a um antigo pescador que, durante as inundações, fazia o transporte de pessoas no seu barco, e seria neste lugar, junto a um pequeno edifício chamado “Casa da Guarda”, que deixava os passageiros. Depois eles seguiam a pé para a Tapada ou Santarém, pelo que podemos afirmar que será até aqui que a Vala de Alpiarça tem capacidade para inundar o campo, sendo pertinente estender até este local a área de estudo.

O estado da arte diz-nos que as inundações “[...] *são provocadas por fenómenos naturais e essencialmente incontrolláveis*” (Costa, 2020: 95). Este autor menciona que as inundações podem ser desencadeadas por cinco tipos de fatores: climáticos, marinhos, geomorfológicos, hidrogeológicos e antrópicos. Serão sobretudo os primeiros que iremos estudar. Com efeito, as inundações a abordar tiveram origem em fenómenos climáticos, nomeadamente em precipitações prolongadas,

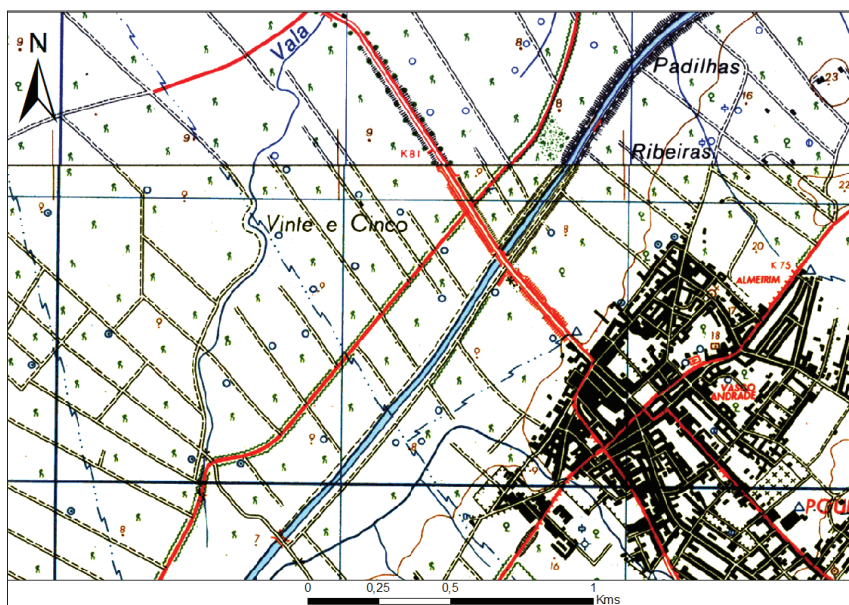


Fig. 2 - Representação cartográfica da área de estudo
(Fonte: Carta Militar de Portugal 1/25000, fl. 353 e 365).

Fig. 2 - Cartographic representation of the study area
(Source: Military Map of Portugal 1/25000 – Sheet 353 and 365).

que duraram vários dias e até semanas, já que a chuva intensa, de apenas alguns minutos, dificilmente originará uma inundação no local em estudo, dada a reduzida dimensão da bacia hidrográfica e a sua platitude.

Relativamente ao tipo de inundação, trata-se de uma inundação fluvial, uma vez que tem origem num curso de água. A inundação fluvial dá-se “[...] *quando a precipitação se concentra rapidamente no curso de água e resulta na transposição das águas do leito menor do rio para o leito maior, no qual podem ser localizadas várias atividades e infraestruturas humanas*” (Costa, 2020: 92).

Este transbordo de água para fora dos cursos de água interfere naturalmente no quotidiano das populações, tendo implicações do ponto de vista social e económico, podendo causar “[...] *perdas de vidas, deslocações de populações, danos no ambiente e património cultural, ser prejudiciais à saúde humana, comprometer o desenvolvimento económico e prejudicar todas as atividades da Comunidade*” (Costa, 2020: 77).

Por outro lado, podemos caracterizar as inundações provocadas pela Vala de Alpiarça como progressivas, na medida em que “[...] *são causadas por longos períodos chuvosos, que podem durar semanas*” (Ramos e Reis 2001: 64). Estas “[...] *resultam num transbordo gradual para o leito de inundação*” (Costa, 2020: 95). Em zonas planas, como aquela que estamos a estudar, “[...] *a terra pode ficar coberta por águas rasas e lentas durante dias ou mesmo semanas*” (Costa, 2020: 97).

Das inundações do Rio Tejo às inundações da Vala de Alpiarça, em Almeirim

O Rio Tejo, com mais de 1 000 km de curso, é o rio mais comprido da Península Ibérica. Conta com vários afluentes e, em território nacional, podemos destacar os rios Erges, Ponsul, Ocreza e Zêzere, na margem direita, e na margem esquerda o Sever, a ribeira de Nisa, o Sorraia e a Vala de Alpiarça, que aqui nos encontramos a abordar.

Segundo Ramos e Reis (2001), a Bacia Hidrográfica do Tejo conta com 80 100 Km², com dois terços em Espanha e um em Portugal. Os autores referem que o Rio Tejo em Portugal pode dividir-se em dois setores distintos, que se delimitam ligeiramente a jusante de Almourol.

Com efeito, até este local, encontra-se inserido no Maciço Antigo e “[...] *escoa de ENE para WSW [...], bastante encaixado, o vale estreita quando cruza as cristas quartzíticas ou granitos mais resistentes*” (Ramos e Reis, 2001: 65). Neste sector, as inundações podem alcançar alturas bastante elevadas, com o maior registo que se conhece a atingir 25 metros em Vila Velha do Rodão. A jusante de Almourol, o rio entra na Bacia Sedimentar Cenozoica, alarga-se e escoa de Nordeste para Sudoeste até Lisboa, onde encontra o Oceano Atlântico. A partir de sete metros as águas começam a inundar as planícies aluviais, mas nunca ultrapassam nove metros, mesmo nas piores inundações que há registos (Ramos e Reis, 2001).

As inundações provocadas pelo Rio Tejo e seus afluentes levaram a intervenções humanas no seu curso praticamente desde a formação da nacionalidade. Contudo, mais recentemente, “[...] *o rio sofreu uma crescente intervenção humana que modificou o seu comportamento hidrológico através da construção de mais de 140 barragens*” (Ramos e Reis, 2001: 67), sendo esta construção sobretudo entre 1950 e 1960.

Segundo os autores citados, podemos encontrar três períodos distintos em relação à capacidade de armazenamento das barragens e artificialização do rio.

O primeiro deles, até 1950, diz respeito à quase inexistência de barragens, e logo corresponde ao rio em regime natural. O segundo período compreende as décadas de 50 e 60 do séc. XX, quando foram construídas numerosas barragens, tanto em Portugal como em Espanha. Por fim, o terceiro período dá-se a partir dos anos 70, “[...] *quando o regime do Tejo português passou a depender principalmente da Barragem espanhola de Alcântara, [...], cujo reservatório possui uma capacidade de armazenamento de 1/4 do total de água armazenada em todas as barragens da bacia*” (Ramos e Reis, 2001: 67).

As barragens acarretaram duas grandes consequências para o rio: o transporte de menos sedimentos (e consequente erosão das praias a sul do estuário do Tejo), e a diminuição do número de inundações e, sobretudo, da área que lhes está associada. Com efeito, tanto Ramos (2005) como Azevêdo *et al.* (2019) mencionam que a construção de barragens trouxe uma diminuição quer em tamanho quer em frequência dos fenómenos de inundação na Bacia Hidrográfica do Tejo, ainda que continuem a existir pequenos fenómenos de inundação em mais de metade dos anos, e “*aquando de anos especialmente chuvosos, as grandes cheias voltam a inundar a lezíria*” (Ramos, 2005: 221).

Com efeito, a partir dos anos 70 o transbordo do rio¹, ou seja, quando se começa a dar a inundação, ocorre menos vezes do que nas décadas anteriores (fig. 3).

¹ Ramos e Reis (2001), baseados na Estação Hidrométrica da Ponte de Santarém, mencionam que o transbordo do rio se dá-se quando o caudal atinge a altura hidrométrica de 6,4 metros. Os dados desta estação, como de muitas outras, contem alguns hiatos, sendo que o próprio gráfico da fig. 3 não representa todos os anos, porque não há dados máximos anuais disponibilizados na base de dados do SNIRH, ainda que lhe tenhamos adicionado alguns disponibilizados numa súmula do “Correio do Ribatejo”. Não sabemos efetivamente quando é que esta estação terá sido desativada, mas não há dados disponíveis a partir de março de 1974. Entretanto, a partir de outubro de 1972 e até setembro de 2002, passaram a existir dados, mais a jusante, relativos à Estação Hidrométrica das Ómnias.

Deste modo, quando os autores se referem ao nível hidrométrico máximo de 8,89 metros, registado a 11 de fevereiro de 1979, esse valor diz respeito à estação da Ponte de Santarém, pelo que podemos determinar uma diferença de 2,49 m entre o nível do transbordo e o máximo registado, o que corresponde a 28% deste. Estando disponíveis na base de dados do SNIRH o valor hidrométrico máximo para as estações hidrométricas das Ómnias e Almeirim para esse mesmo dia (que foram de 10,44 e 11,73 metros respetivamente), e embora sabendo que a influenciar o transbordo existem outros factores que não conhecemos, admitindo que a proporção se mantém, se subtraírmos 28% a esses valores, ficamos com uma altura de transbordo de 7,52 metros nas Ómnias e 8,44 metros em Almeirim, valores que usaremos como referência para o transbordo referente a essas estações.

Ainda assim, deveremos olhar para estes dados com cautela, na medida em que não são exaustivos, pois existem muitos anos sem dados. No entanto, conseguimos perceber que as maiores inundações tiveram lugar precisamente após a construção das barragens, nomeadamente nos anos de 1979 e 1989.

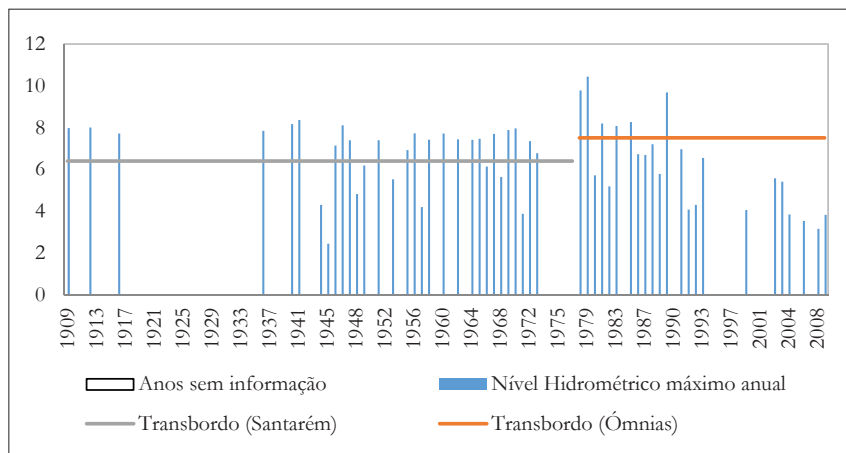


Fig. 3 - Nível hidrométrico máximo anual, entre 1909 e 2009, nas estações da Ponte de Santarém (até 1973) e das Ómnias (a partir de 1978) (Fonte dos dados: Correio do Ribatejo e SNIRH).

Fig. 3 - Annual maximum hydrometric level, between 1909 and 2009, in Ponte de Santarém (until 1973) and Ómnias (after 1978) (Data source: Correio do Ribatejo and SNIRH).

Inundações em Almeirim

Apresentam-se quatro exemplos de manifestações do risco de inundação, sendo duas delas anteriores, dezembro de 1909 e inverno de 1935-36, e duas posteriores, fevereiro de 1979 e dezembro de 1989, à construção das barragens mencionadas no parágrafo anterior.

Inundação de Dezembro de 1909

As inundações de dezembro de 1909 são-nos relatadas por Vermelho (1951), Henriques (2006) e Andrade (2012) como um dos fenómenos com maiores consequências para as populações de Almeirim. Com efeito, os autores frisam que

já existiam debilidades, que advinham do terramoto de Benavente, ocorrido a 23 de Abril de 1909, e que ainda não estavam sanadas, nomeadamente em termos das famílias desalojadas. Vermelho (1951) afirmou que as águas atingiram 7,95 metros. O campo foi inundado de Alpiarça a Benfica do Ribatejo (Almeirim encontra-se entre estas duas localidades), trazendo perdas de culturas agrícolas e tendo levado ao desaparecimento de barracas com alfaías que ali existiam. As estradas e caminhos foram bastante danificados e no início de 1910 “[...] *a circulação pelos campos continuava a ser difícil, uma vez que as estradas estavam por reparar*” (Henriques, 2006: 105).

As inundações também chegaram às zonas habitacionais, causando desalojados e arrastando cabeças de gado. Em Almeirim, na parte do aglomerado urbano, quem mais sofreu com as inundações foi um bairro que então se estava a desenvolver, na parte sudoeste da então vila. Este foi visitado, a 30 de dezembro de 1909, por D. Manuel II, Rei de Portugal à época, que “[...] *ao ver a destruição causada pela fúria das águas, terá afirmado: «isto parece Tróia»*” (Henriques, 2006: 103), sendo esse local ainda hoje chamado “o Bairro da Tróia”.

Inundações do Inverno de 1935-36

Antes de procedermos à descrição das consequências das inundações do inverno de 1935-36 em Almeirim, devemos ter em consideração um aspeto relativo à Vala de Alpiarça a que alude Pais (2005). O autor menciona que, desde o início do séc. XX, esta linha de água se encontrava “*obstruída com lixo de toda a ordem*” (Pais, 2005: 268). Segundo o autor, a vala só fora limpa em 1932, quando fora eliminada toda a vegetação das margens. Depois, durante a primeira inundação, ou seja, na de dezembro de 1935, as margens desmoronaram-se e a vala voltou a ficar obstruída, o que aumentou as consequências negativas das inundações seguintes, de janeiro a abril de 1936. Esta terá sido mais uma das razões pelas quais as inundações de 1935-36 foram tão gravosas.

Com efeito, o Inverno de 1935-36 ficou na memória dos Almeirinos como tendo tido as maiores inundações na, então, vila. Talvez isto tenha acontecido também pela sua dimensão, mas foi principalmente pela sua durabilidade e,

também, pelas consequências que delas advieram. Foram descritas por Ferreira (2004) e Cláudio (2006), sendo que este último se baseou bastante num periódico de então, denominado “O Vale do Tejo”.

Na verdade, Cláudio (2006) contabilizou a duração de cada um dos fenómenos, que totalizaram 47 dias (fig. 4). Pela análise da distribuição diária, percebemos que existiram muitos dias com precipitação e muitos deles foram consecutivos e alguns registaram um volume elevado. Com efeito, dos 152 dias analisados, 79 (cerca de 50%) registaram precipitação efetiva, cujo total acumulado nesses cinco meses foi de 783,6 mm, período em que existiram oito inundações. Ferreira (2004), que teria 9 anos à época, recordava-se *«perfeitamente de andar dentro de casa em cima de duas cadeiras, como se fossem andas»* (Ferreira, 2004: 12).

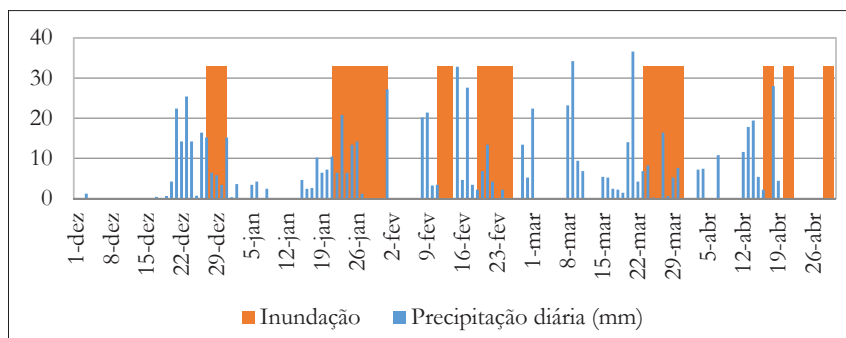


Fig. 4 - Precipitação diária (mm) na Estação de Almeirim, entre 1 de dezembro de 1935 e 30 de abril de 1936, com indicação dos dias em que houve inundações (Fonte dos dados: SNIRH).

Fig. 4 - Daily rainfall at Almeirim Weather Station, between 1 December 1935 and 30 April 1936, with the days of floods marked (Data source: SNIRH).

A primeira inundação teve início a 27 de dezembro e teve a duração de cinco dias. Terá sido certamente fruto das precipitações abundantes dos dias anteriores, com seis dias a atingir mais de 14 mm diários e com um desses dias acima de 20mm e, outro, com valor superior a 25 mm.

Em relação à segunda inundação, que começou a 21 de janeiro, Cláudio (2006) mencionou que ela inundou os campos apenas 20 dias depois da primeira e salientou a crise de trabalho que foi enorme, dado que à época os trabalhos no campo absorviam não só a população da então vila, mas também a dos pequenos

lugares da região. Considerou-se ser a maior inundação desde 1909, pelo facto de ter sido aquela que durou mais tempo (12 dias), em consequência das precipitações que se fizeram sentir durante treze dias consecutivos, de 15 a 27 de janeiro.

A terceira inundação, que principiou a 11 de fevereiro e teve a duração de 4 dias, interrompeu a circulação para Santarém. Terá sido consequência da precipitação dos dias anteriores, dois deles com valores da ordem de 20 mm diários. Os efeitos para a agricultura já se faziam sentir, pois encontravam-se destruídas as sementeiras e, além disso, havia “[...] *homens novos e válidos pedindo esmola, transtornos de toda a ordem, enfim uma pavorosa crise de trabalho* [...]”. *Os campos ficaram num estado que tão depressa não poderão ser trabalhados*” (Vale do Tejo *apud* Cláudio, 2006:10-11).

A quarta inundação durou oito dias, que tendo sido precedida por dois dias com precipitação abundante, 15 e 17 de fevereiro, com cerca de 30 mm cada (fig. 4).

Depois, os dias 1 e 8 de março registaram valores de pluviosidade superiores a 20 mm, e no dia 9 de março, observaram-se 34,2 mm, após o que se seguiram vários outros dias com precipitação, tendo culminado no dia, dia 21 de março, quando houve o maior registo de precipitação diária desse inverno, com 36,6 mm, e que antecedeu uma inundação, a quinta, que começaria dois dias depois, com duração de nove dias.

Em abril existiram mais três inundações, com cada uma delas a durar três dias, e como ocorreram na segunda quinzena, quando já não eram expectáveis, isso veio aumentar muito as suas consequências. Assim, as precipitação contínuas, entre os dias 12 e 15 de abril, originaram uma nova inundação, a sexta, de 16 a 18 de abril.

Por sua vez, em resultado da abundante pluviosidade do dia 18 de abril, 28 mm, a qual se prolongou para o dia seguinte, apenas dois dias depois da anterior, a 20 abril começou a sétima inundação, que bloqueou a estrada para Santarém até ao dia 22, e que foi a que “[...] *mais prejuízo deu à agricultura, por ter completado a destruição das vinhas, trigos, favas, etc. que, por acaso, escaparam e resistiram à paralisação e ferocidade das cheias anteriores*” (Vale do Tejo *apud* Cláudio, 2006:11).

Apesar da ausência de registos de precipitação a partir de 20 de abril, terá havido uma oitava inundação a 28 de abril, que poderá ter tido origem em precipitações mais a montante da Bacia Hidrográfica da Vala de Alpiarça ou resultar do próprio Tejo. A estrada para Santarém voltou a ser cortada e, na agricultura, voltaram a

registar-se impactes de grande ordem, nomeadamente “[...] *algumas curas que eram feitas pelos fazendeiros e lavradores em que eram empregados homens, que se sujeitavam a esses trabalhos, encravados em nateiros, com risco de desses pontos não se poderem retirar, ficaram de nulo efeito*” (Vale do Tejo *apud* Cláudio, 2006:11).

Ainda que tenha chegado a invadir as zonas residenciais, foram sobretudo os impactes na agricultura que marcaram estas inundações, pois, como frisou Ferreira (2004), conduziram à descapitalização de proprietários, lavradores e fazendeiros, uma vez que com a destruição “[...] *dos rebentos das vinhas e das plantações de trigo, milho e leguminosas [...] a colheita foi muito pequena, não chegando para pagar as despesas correntes*” (Ferreira, 2004: 12).

Apesar de não estarem disponíveis os dados hidrométricos para esta inundação, o “Correio do Ribatejo” de 29 de dezembro de 1989, que faz uma súmula do nível das inundações mais expressivas até àquela data, aponta para o ano de 1936 a altura da água de 7,85 metros, em Santarém.

Inundação de Fevereiro de 1979

Ainda que não falem especificamente do caso de Almeirim, tanto Azevêdo *et al.* (2019) como Ramos e Reis (2001) mencionam a inundação de fevereiro de 1979 como a maior do séc. XX no rio Tejo, e possivelmente a maior de que há registos, com um período de retorno de 210 anos e um caudal de ponta de 14 500 m³/s e 8,89 metros de altura, na Ponte de Santarém. A área inundada terá sido de 871 Km², com alguns locais inundados por 100 dias, devido à sua baixa altitude e inclinação. O Correio do Ribatejo de 23 de fevereiro noticia que o deputado José Niza, eleito pelo Distrito de Santarém na Assembleia da República, interveio mencionando que estas inundações ultrapassaram as de 1876 e 1941 que, à data, eram as de pior memória. Por outro lado, referiu ainda que as barragens não resolveram o problema das inundações.

Com efeito, Azevêdo *et al.* (2019) referiram que esta inundação ocorreu depois de 15 dias consecutivos de precipitação, a que se somaram descargas sucessivas e mal coordenadas da barragem portuguesa de Castelo do Bode e da espanhola de

Alcântara. Também Ramos e Reis (2001) descreveram as inundações de 1979 com “[...] picos de cheia [que] foram acentuados pelas descargas contínuas das barragens, nem sempre coordenadas entre as autoridades espanholas e portuguesas [...]. Se é certo que as barragens diminuíram a frequências das cheias, sobretudo as outonais, já nas situações anormalmente chuvosas de Inverno, contribuíram, por vezes, para o aumento dos caudais de ponta” (Ramos e Reis, 2001:70).

Ainda antes de entrarmos no caso específico de Almeirim, para melhor termos noção da magnitude desta inundação, devemos debruçar-nos sobre o jornal “Correio do Ribatejo”, de 2 de março de 1979, que relata a visita às áreas afetadas do então Presidente da República, Ramalho Eanes, acompanhado pelo Ministro da Administração Interna, António Gonçalves Ribeiro.

Na mesma edição deste jornal foi reproduzido um comunicado da Associação de Agricultores do Ribatejo onde estes mencionam que a cota máxima é rapidamente atingida, devido aos caudais descarregados pelas barragens do Fratel (12 000 m³/s) e do Castelo do Bode (2 000 m³/s). Mencionaram ainda que era imperativo que se dialogasse com Espanha para concertar os caudais descarregados pelas barragens, a fim de evitar inundações com esta magnitude. A edição seguinte do “Correio do Ribatejo”, de 9 de março de 1979, alude à falta de matéria-prima para o setor agroalimentar.

Passando agora a Almeirim, se analisarmos os dados da precipitação, bem como do nível hidrométrico, conseguimos perceber melhor a dinâmica desta inundação. Com efeito, apesar da precipitação já se fazer sentir há alguns dias, foi no dia 9 de fevereiro que se atingiu o valor mais alto do mês, 36 mm, sendo o nível hidrométrico de 8,15 metros. A precipitação manteve-se elevada até 11 de fevereiro, o que contribuiu para que o nível hidrométrico tivesse continuado a subir, atingindo o valor máximo a 11 de fevereiro, com 11,73 metros. A partir daqui, este valor começou a descer, com uma estagnação a 15 de fevereiro, devido a um ligeiro aumento da precipitação, após o que continuou a baixar, tendo ficado abaixo do nível de transbordo a 17 de fevereiro, ou seja, atingiu-se a cota máxima em 2 dias e, depois, a inundação manteve-se durante mais 6 dias, tendo baixado lentamente até ficar abaixo do nível de transbordo, formando uma curva assimétrica, com uma curva de crescimento mais rápida do que a curva de descida e enfraquecimento, como é característico dos hidrogramas de cheia (fig. 5).

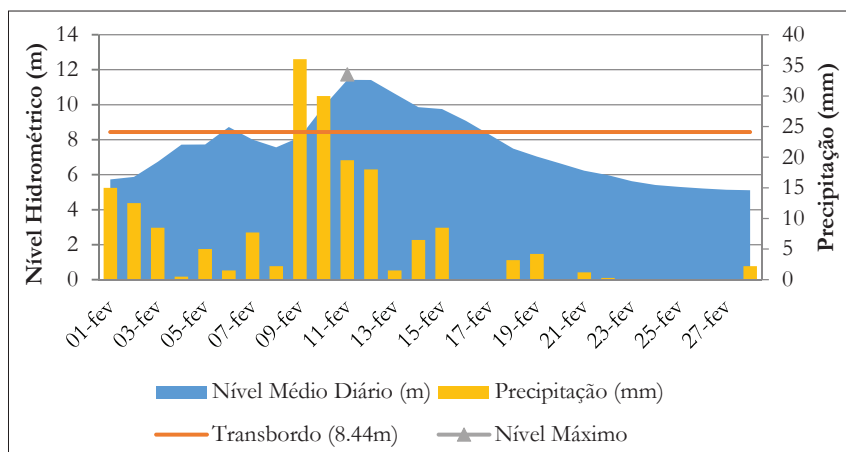


Fig. 5 - Nível Hidrométrico médio diário e Precipitação diária na Estação de Almeirim, em fevereiro de 1979 (Fonte dos dados: SNIRH).

Fig. 5 - Average daily hydrometric level and daily rainfall at Almeirim Weather Station, in February 1979 (Data source: SNIRH).

Sabemos que o nível da água dentro do aglomerado urbano de Almeirim atingiu proporções que não eram usuais quando, algumas vezes, a água entrou pela, então, vila. Na verdade, testemunhos orais dizem-nos que a cota máxima chegou à porta da Farmácia Barreto do Carmo, que pela cartografia sabemos estar um pouco acima de 14 metros de altitude e, naturalmente, quando tal aconteceu, a Estrada Nacional 114 estaria já submersa, (fig. 6). De igual forma, a Estrada Nacional 118, que atravessa Almeirim, encontrava-se submersa à saída sul, em direção a Benfica do Ribatejo, e, já fora da zona urbana, também estava submersa a norte, na ligação para Alpiarça, pelo que se pode afirmar que a vila ficou isolada em termos de comunicações terrestres.

Várias pessoas ficaram desalojadas, apenas com a roupa que tinham vestida, conforme noticiou o jornal “O Almeirinese”, nas edições de 15 de fevereiro e 1 de março. Caíram casas, muros e perdeu-se o recheio de muitas habitações, nomeadamente a adega de José da Silva Rodrigues, na Pontinha, que ficou em risco de ruir. Almeirim ficou sem energia elétrica durante uma parte deste período de inundação.

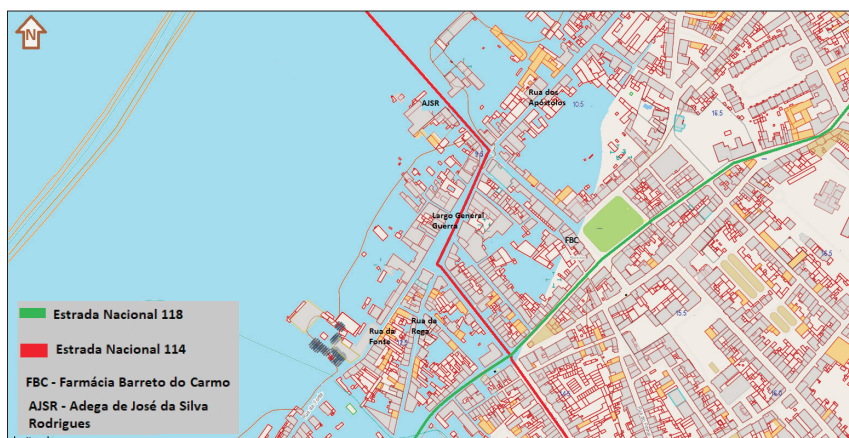


Fig. 6 - Reconstituição da inundação de fevereiro de 1979 dentro do núcleo urbano de Almeirim (Elaborada por Samuel Tomé, a partir do WebSIG do Município de Almeirim).

Fig. 6 - Reconstitution of the February 1979 flood in the urban centre of Almeirim (Prepared by Samuel Tomé, from WebSIG of Almeirim Municipality).

Inundação de Dezembro de 1989

Nas peças noticiosas da imprensa local e regional, referentes à inundação de dezembro de 1989, ressalta sempre o termo de comparação com a de 1979, sendo mencionado que a cota máxima esteve a poucos centímetros da inundação que acontecera uma década antes. Mais uma vez, o seu impacte terá sido tal que,   época, o então Presidente da República, Mário Soares, visitou a região a 23 de dezembro.

Segundo o “Correio do Ribatejo”, de 21 de dezembro, as descargas das barragens de Castelo do Bode e Fratel (com esta a ser naturalmente afetada pelas descargas da Barragem de Alcântara, em Espanha) começaram a 12 de dezembro, tendo o caudal atingido 7 000 m³/segundo, nas Ómnias e o transbordo do Rio Tejo sucedeu no dia seguinte, a 13 de dezembro (fig. 7).

Com efeito, associada à descarga das barragens, verificou-se uma precipitação que se fez sentir quase diariamente, com valores a rondarem 10 mm, pelo que o nível hidrométrico foi-se mantendo mais ou menos constante, tendo variado entre 7 e 8

metros. O “Correio do Ribatejo”, de 29 de dezembro², noticiou que, pelo facto da precipitação e das descargas das barragens estarem a diminuir, parecia que também a inundação começava a diminuir, contudo, a 26 de dezembro a precipitação intensificou-se, e o nível voltou a aumentar, chegando ao nível hidrométrico máximo desta inundação do rio Tejo, com 9,69 metros.

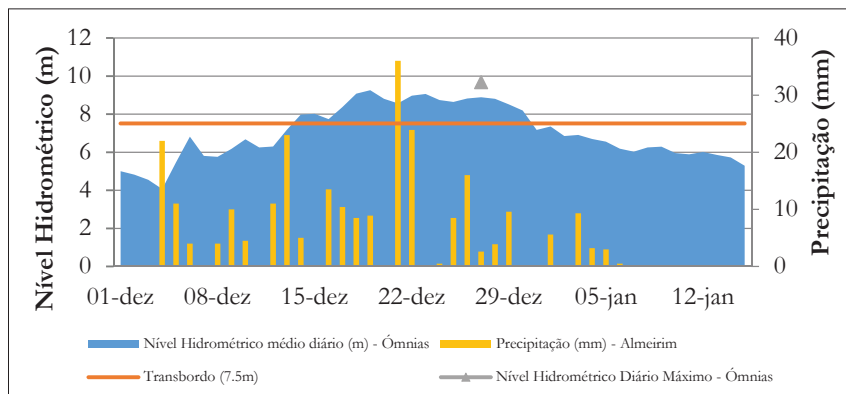


Fig. 7 - Nível Hidrométrico médio diário na Estação das  mnicas e Precipitação diária na Estação de Almeirim, entre 1 de dezembro de 1989 a 15 de janeiro de 1990 (Fonte dos dados: SNIRH).

Fig. 7 - Average daily hydrometric level at  mnicas Weather Station and daily rainfall at Almeirim Weather Station, between 1 December 1989 and 15 January 1990 (Data source: SNIRH).

A edição de 1 de janeiro de 1990 do jornal “O Almeirino” dá-nos conta especificamente das consequências desta inundação em Almeirim. A Estrada Nacional 114 para Santarém esteve cortada durante 10 dias e o nível da água chegou ao cruzamento com a Rua dos Apóstolos (fig. 8). Os prejuízos na agricultura ainda não se conseguiam calcular nessa data. Sabemos que esta inundação terá ligado com a do Rio Tejo (como a de 1979, certamente), pois o “Correio do Ribatejo”, de 29 de dezembro de 1989, reproduziu uma fotografia do entroncamento das estradas nacionais 114 e 368, que se encontrava submerso.

² Temos de ter em consideração o desfasamento das datas de capa do jornal dos dados efetivos por se tratar de um semanário, cuja edição fecha alguns dias antes da publicação, que poderia ter sido adiantada inclusivamente por se estar no período do Natal.

No “Correio do Ribatejo”, de 5 de janeiro de 1990, começou a falar-se mais das consequências das inundações, pelos vários atores (autarcas, deputados da região, União de Sindicatos). Estas traduziram-se não só na destruição de habitações, mas também tiveram fortes impactes nos terrenos agrícolas, sobretudo nos localizados junto aos rios, pois ficaram cobertos de areia, o que os inutilizou durante algum tempo, e além disso, devido ao encharcamento dos solos, as culturas de primavera tiveram de ser atrasadas. Estes atores reclamaram o Plano de Regularização do Vale do Tejo (prometido alguns anos antes), pois mencionavam que as inundações foram mais graves devido ao assoreamento de areia e outros detritos do Rio Tejo e seus afluentes, assim como a falta de limpeza de ribeiros e valas, não falando da falta de coordenação das descargas das barragens.

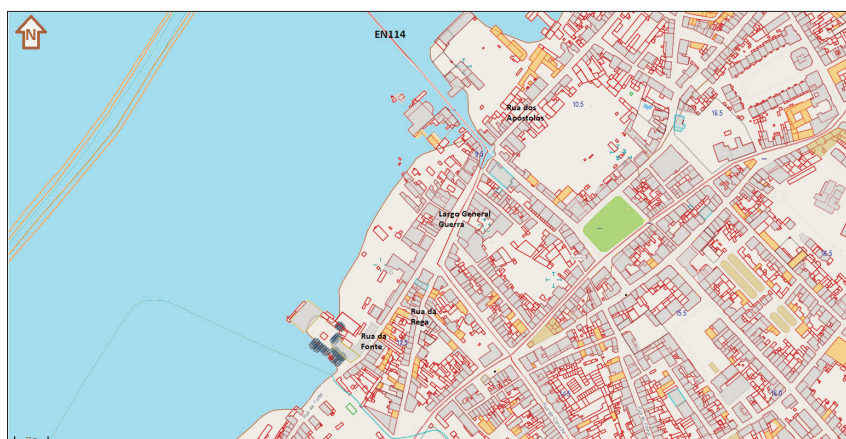


Fig. 8 - Reconstituição da inundação de dezembro de 1989 dentro do núcleo urbano de Almeirim (Elaborada por Samuel Tomé, a partir do WebSIG do Município de Almeirim).

*Fig. 8 - Reconstitution of the December 1989 flood in the urban centre of Almeirim
(Prepared by Samuel Tomé, from WebSIG of Almeirim Municipality).*

Síntese das áreas inundáveis em Almeirim

A experiência, resultante da vivência de várias inundações provocadas pela Vala de Alpiarça, ensinou-nos que as inundações de Almeirim são graduais, tal como as do Rio Tejo, com as quais ocorrem a par, o que significa que enquanto a água

vai subindo, as populações já sabem o que será inundado em primeiro lugar e que, quando determinado ponto fica submerso, já se sabe qual será a próxima área a ser inundada, se entretanto as águas não estagnarem e se, por acaso, se vier a atingir o nível hidrométrico máximo daquelas inundações.

Ora, esse conhecimento advindo da experiência foi contribuindo para o desenvolvimento de uma cultura sobre inundações que permite saber que ela ocorre em diversas etapas, a partir das quais é possível cartografar a progressão da inundação, o que pode ser traduzido num mapa de probabilidade das áreas inundadas e dos respetivos danos (fig. 9), ou seja, quanto maior for a probabilidade de inundação menores serão os danos por ela provocados e, pelo contrário, quanto menor for a probabilidade, maior será a área afetada e, por conseguinte, mais nefastas serão as consequências. Deste modo é possível estabelecer quatro classes de inundação, a partir da Vala de Alpiarça, e uma quinta, a partir do Vale Virgo, além da identificação de uma outra situação que, embora sendo provocada pelo rio Tejo, servia de aviso para o corte de comunicações entre Almeirim e a capital do distrito, Santarém:

1. Elevada frequência e baixo dano - Transbordo para os campos que envolvem a Vala de Alpiarça. Ocorre muitas vezes, como resultado de fenómenos de pluviosidade mais abundante. Quando isto acontece, praticamente ninguém se apercebe por ter um impacte quase residual.
2. Média frequência e dano moderado - Inundação da Estrada Rural A2 (também conhecida como “Estrada do Meio”). Ocorre com menos frequência do que a anterior e com consequências mais diretas, uma vez que, após a inundação da estrada, o campo irá ser progressivamente inundado.
3. Reduzida frequência e danos avultados - Inundação da Estrada Nacional 114, que liga Almeirim à Tapada e a Santarém, e provocava o constrangimento dos cortes de comunicações com a capital de distrito. Com a inauguração da Ponte Salgueiro Maia/IC10, em 2000, esta limitação deixou de existir.
4. Frequência muito baixa e danos muito avultados - Inundação da parte baixa de Almeirim. Segundo Ferreira (2004), dentro desta área do aglomerado urbano é possível estabelecer as seguintes etapas:
 - a. Casa de Álvaro Pina (na Rua dos Apóstolos);
 - b. Entrada da água no Largo General Guerra;

c. Ligação da água do Largo General Guerra à que vem de S. Roque pela Rua da Rega e Rua da Fonte.

5. Frequência muito rara - Inundação do Bairro da Tróia. Trata-se de uma possibilidade que se deve manter em aberto, embora já não aconteça há vários anos.

Sinal de aviso - Inundação da Estrada Nacional 368 (que liga Tapada a Alpiarça). Embora não faça parte da área inundável pela Vala de Alpiarça, pois é uma inundação diretamente causada pelo Rio Tejo, ela era muito importante, na medida em que acontecia antes da submersão Estrada Nacional 114, que anteriormente à construção do IC10, provocava o corte de comunicações com a capital de distrito.

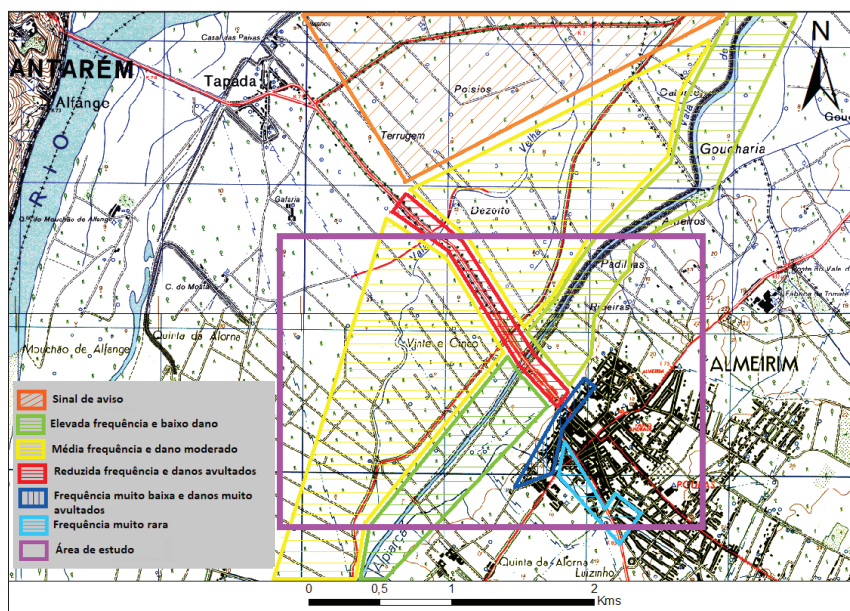


Fig. 9 - Mapa com os vários pontos da inundação de forma gradual, com área de investigação destacada (Fonte: Carta Militar de Portugal 1/25000, fl. 353 e 365).

Fig. 9 - Map showing the gradual build-up of the flood at various points, with the research area highlighted (Source: Military Map of Portugal 1/25000 – Sheet 353 and 365).

A propósito das inundações e do corte da Estrada Nacional 114, cabe fazer aqui uma referência aos barqueiros, que eram contratados para fazer o transporte de pessoas e bens entre Almeirim e a Tapada, conforme refere Ferreira (2004), tanto mais que nas inúmeras fotografias de inundações em Almeirim, é comum ver barcos nas estradas e ruas inundadas.

Considerações Finais

As inundações são um fenómeno da natureza que, no caso dos rios, como é o deste trabalho de investigação, consistem no transbordo da água para fora dos leitos normais ou aparentes, onde habitualmente circula, ou seja, para os designados “leitos de inundação”. Ora, os leitos de inundação, sendo áreas extremamente férteis, propiciam a presença humana, pelo que quando a inundação ocorre, estamos perante a manifestação do risco.

A manifestação deste tipo específico de risco acarreta, normalmente, graves consequências. No entanto, aquelas que abordamos aqui, por ocorrerem numa pequena bacia hidrográfica com características muito específicas, não acarretam os efeitos mais violentos deste tipo de fenómenos, nomeadamente a perda de vidas humanas. Entre outras eventuais razões explicativas para que os danos não sejam tão avultados como os que ocorrem nas situações mais graves, está o facto da bacia hidrográfica ser de reduzida dimensão e se desenvolver numa forma de relevo muito suave, pelo que as inundações se espriam por áreas relativamente extensas, dando-lhe um carácter progressivo. Isto quer dizer que entre o extravasamento da água, no caso da Vala de Alpiarça e o corte da estrada para Santarém, mesmo nas situações em que a água sobe mais rapidamente, há algumas horas que não só permitem evacuar as pessoas e bens que se encontrem nos campos, mas também colocar a salvo a população urbana e os seus bens, muito antes que a água invada a área inundável da cidade de Almeirim.

Ao lançar um olhar holístico ao comportamento dos fenómenos de inundação e à sua evolução no tempo na área de estudo, conseguimos perceber que eles passaram a acontecer com menor frequência nos nossos dias, por via da ação das barragens, que retêm o caudal dos rios.

Com efeito, a construção deste tipo de equipamentos nos rios, ao longo do século XX, veio propiciar que as inundações deixassem de ter os níveis gravosos que tinham, por um lado, e por outro, tendo em conta as descargas de caudal controlado, perceber melhor quando a inundação vai ocorrer.

No entanto, ao finalizar este trabalho de investigação, a principal conclusão que podemos retirar é a de que o controlo das inundações só será efetivo se forem tidos em

conta dois aspetos. Em primeiro lugar, é necessário que o volume de água descarregado das barragens seja feito de modo concertado entre Portugal e Espanha, caso contrário, teremos efeitos semelhantes aos da inundação de fevereiro de 1979. Em segundo lugar, é preciso que não se encare a acumulação de água nas barragens meramente para efeitos de produção de energia elétrica, mas também para algum amortecimento das pontas de cheia, respeitando assim as margens de segurança, pois em casos de precipitações mais intensas, poderá não haver suficiente capacidade de encaixe nem tempo para descarregar os caudais afluentes à barragem sem causar uma inundação, mas uma boa gestão evitará que ela seja tão gravosa como sucederia em regime natural.

No que concerne às consequências que a inundação pode acarretar para as populações, elas foram-se alterando com o tempo. Se, durante um longo período, uma inundação poderia representar fome e miséria, caso se perdessem as colheitas, bem como a ausência de comunicações terrestres para Santarém, nos nossos dias, esses efeitos estão devidamente sanados e já não constituem problema quando existe uma inundação.

Atualmente, a maior vulnerabilidade que poderá fazer aumentar algumas consequências assenta, na nossa ótica, na dificuldade em perceber o risco de forma correta, uma vez que a tomada de consciência da manifestação do risco de inundação e da cultura que lhe está associada vai diminuindo à medida que os fenómenos de inundação vão sendo cada vez menos frequentes e diminuirá tanto mais quanto mais eles se distanciarem no tempo.

Referências bibliográficas

Artigos e livros:

- Andrade, J. J. L. M. (2012). *O Espírito de Almeirim: um desafio*. S/l: Ed. Santa Casa da Misericórdia de Almeirim.
- Azevêdo, T. M., Ramos-Pereira, A. e Nunes, E. (2019). As cheias na construção e evolução da Lezíria do Tejo: Síntese de dois projetos, *Água e Território: Um tributo a Catarina Ramos*. S/l: Ed. Centro de Estudos Geográficos.
- Cláudio, A. (2004). *Conhecer Almeirim*, vol. 1. S/l: Ed. Município de Almeirim.
- Costa, F. S. (2020). Riscos de Inundações e suas manifestações, *Catástrofes Naturais – uma abordagem global*, Riscos e Catástrofes, vol. VII. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 71-117.
DOI: https://doi.org/10.14195/978-989-26-1936-1_4
- Ferreira, U. P. (2004). *Foi isto Almeirim*. Almeirim: Ed. CRIAL.
- Henriques, E. M. L. (2006). *Coisas Urgentes: Almeirim – 1920*. S/l: Ed. de autor.
- Pais, J. J. M. (2005). *Gente de Outro Ver*. Alpiarça: Ed. de autor.
- Ramos, C. (2005). A Dinâmica fluvial, *Geografia de Portugal*, vol. I. Rio de Mouro: Círculo de Leitores, 216-222.
- Ramos, C. e Reis, E. (2001). As cheias no sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas, *Finisterra*, vol. XXXVI, n.º 71. Lisboa: ed. Universidade de Lisboa, 61-82.
- Vermelho, J (1951). *Al-Meirim: Velharias desta Vila Tão Mui Nobre*. S/l: Ed. Casa do Povo de Almeirim.

Publicações periódicas (Jornais)

- (1979). Correio do Ribatejo, de 9 de fevereiro, n.º 4585, ano 88.
- (1979). Correio do Ribatejo, de 16 de fevereiro, n.º 4586, ano 88.
- (1979). Correio do Ribatejo, de 23 de fevereiro, n.º 4587, ano 88.
- (1979). Correio do Ribatejo, de 2 de março, n.º 4588, ano 88.
- (1979). Correio do Ribatejo, de 9 de março, n.º 4589, ano 88.
- (1979). O Almeirinese, de 15 de fevereiro.
- (1979). O Almeirinese, de 1 de março.
- (1989). Correio do Ribatejo, de 21 de dezembro, n.º 5149, ano 99.
- (1989). Correio do Ribatejo, de 29 de dezembro, n.º 5150, ano 99.
- (1990). Correio do Ribatejo, de 5 de janeiro, n.º 5151, ano 99.
- (1990). O Almeirinese, de 1 de janeiro.

**INUNDAÇÕES URBANAS NA AMAZÔNIA
SETENTRIONAL, BOA VISTA-RR-BRASIL**
URBAN FLOODS IN THE NORTHERN AMAZON,
BOA VISTA-RR-BRAZIL

Antônio Carlos Ribeiro Araújo Júnior
Universidade Federal de Roraima (Brasil)
ORCID: 0000-0003-0756-1612 antonio.araujojuni@ufr.br

Resumo: A despeito de desastres ocorridos na Amazônia Setentrional Brasileira relativos a inundações, faz-se referência a cidade de Boa Vista, capital do estado de Roraima. Esta, em 5 de junho de 2011 entrou em Estado de calamidade pública devido às fortes chuvas na região. A cidade de Boa Vista-RR ficou isolada, pois, as rodovias federais (principal modal de transporte) BR-174 e BR-401 permaneceram interditadas para tráfego por mais de 1 mês. Desta forma, tem-se como objetivo entender, discutir e vislumbrar o passado, o presente e futuro, respectiva e concomitantemente, de Boa Vista a fim de apontar caminhos possíveis e palpáveis no processo de planejamento e gestão da cidade, a qual está em crescimento horizontal e acaba por desencadear impactos sociais (em razão da ocupação de áreas de risco, principalmente a alagamento), bem como físicos (em razão da ocupação de Área de Preservação Permanente).

Palavras-chave: Risco, prevenção, Boa Vista.

Abstract: Despite disasters in the northern Brazilian Amazon related to flooding, this study looks at the city of Boa Vista, capital of the state of Roraima. On 5 June 2011 a state of public disaster was declared for the city due to heavy rains in the region. The city of Boa Vista-RR was cut off as the federal highways (main transport mode) BR-174 and BR-401 were closed to traffic for more than 1 month. Thus, the purpose is to understand, discuss, and detect signs of the past, present and future of Boa Vista, respectively and concurrently, in order to point out possible and tangible paths in the planning and management of the city. It is spreading out and will end up triggering social impacts (due to the occupation of risk areas, mainly flooding), as well as physical ones (due to the occupation of the Permanent Preservation Area).

Keywords: Risk, prevention, Boa Vista.

Introdução

Envidar esforços na escrita de um capítulo para compor a obra “Roraima 30 anos: Professor Rafael da Silva Oliveira, ideário e pluralidade geográfica da Amazônia setentrional”, parece-nos mais um prazer do que um esforço visto se tratar de temática tão cara ao Prof. Dr. Rafael que tanto amou este estado e o “escolheu” como sua última morada, discutir e entender a dinâmica roraimense.

Trabalhos como Oliveira (2007) que discutiu os reflexos sociais e físicos da abertura e pavimentação da rodovia federal BR-174 em Roraima, bem como Kanai, Oliveira e Silva (2012) e Kanai e Oliveira (2014), tratando sobre os desdobramentos da política neoliberal envolvendo a pavimentação da rodovia federal BR-174 e suas repercussões na Amazônia Ocidental-Setentrional, dentre elas a urbanização, respectivamente, instigam a discutir aspectos da expansão do espaço urbano em Roraima, o qual se concentra majoritariamente em sua capital Boa Vista (fig. 1).

Kanai, Oliveira e Silva (2012) destacam que Boa Vista é cidade primaz e evidencia o caráter centralista presente na urbanização de Roraima. Tal assertiva torna-se relevante diante do fato que 63% da população do estado concentra-se na

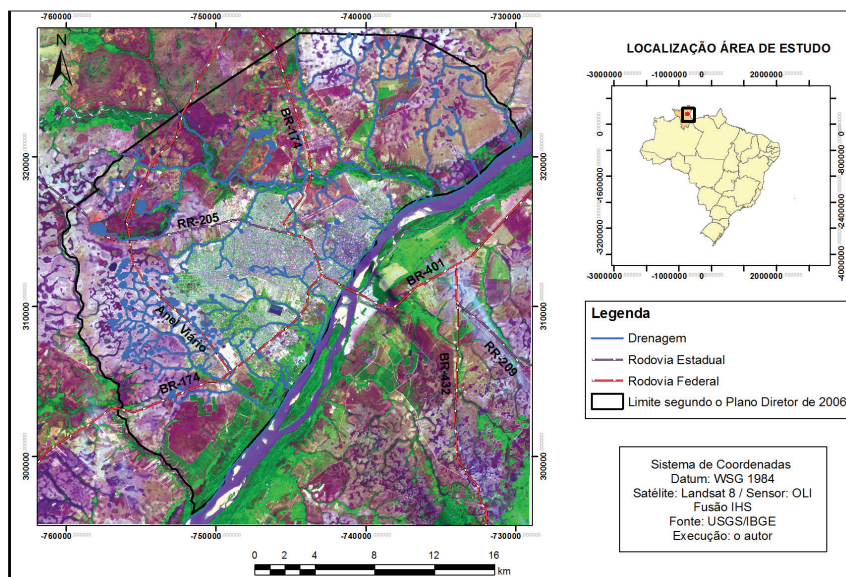


Fig. 1 - Mapa de localização da cidade de Boa Vista-RR (Fonte: Araújo Júnior, 2016).

Fig 1. - Location map of the city of Boa Vista-RR (Source: Araújo Júnior, 2016).

capital, fazendo com que serviços e infraestruturas agrupem-se em uma localidade, tendo ainda poder de atração aos migrantes, visto a acessibilidade destes elementos.

A concentração populacional, no entanto, ocorre de forma não ordenada pelo Estado (poder público), acarretando a ocupação irregular de áreas na cidade não propícias para tal fim, o que gera grande probabilidade de gênese e/ou intensificação de áreas de risco à inundação e a alagamento.

Desta forma, tem-se como objetivo entender, discutir e vislumbrar o passado, o presente e futuro, respectiva e concomitantemente, de Boa Vista a fim de apontar caminhos possíveis e palpáveis no processo de planejamento e gestão da cidade, a qual está em crescimento horizontal e acaba por desencadear impactos sociais (em razão da ocupação de áreas de risco, principalmente a alagamento), bem como físicos (em razão da ocupação de Área de Preservação Permanente).

Procedimentos metodológicos

Para o alcance dos objetivos propostas o trabalho encontra-se dividido em três momentos que se complementam: (i) entender o processo passado-recente de ocupação de Boa Vista, (ii) discutir o modo como os usos sociais vem ocorrendo e se desenvolvendo neste espaço e (iii) vislumbrar perspectivas de planejamento e gestão para a cidade de maneira coerente com seus aspectos físicos e sociais. Estes três momentos estão expostos em duas seções no item resultados e discussões.

Foi realizado levantamento bibliográfico de obras que retratam o processo passado-recente e presente de ocupação/expansão de Boa Vista e suas repercussões sociais e físicas, no concernente ao processo de uso e ocupação da cidade.

Tendo por base os procedimentos adotados por Araújo Junior (2016) foram utilizadas Imagens Landsat 5 captadas pelo sensor TM 5 dos anos de 1985 e 1995 com resolução de 30 metros na órbita/ponto 232/58 disponíveis no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A imagem do satélite CBERS-2, sensor CCD do ano de 2005 com resolução espacial de 20 metros na órbita/ponto 175/97 também encontra-se disponível no INPE. Já a imagem Landsat 8, sensor OLI do ano de 2014 nas resoluções de 15 e 30 metros na órbita/ponto 232/58 está disponível no site da *United States Geological Survey* (USGS).

O intervalo de 10 anos entre as imagens é por conta do contexto de transição política do estado de Roraima, o qual em 1985 estava sobre a tutela do governo federal brasileiro sendo Território Federal e após 1988 com sua constituição enquanto estado da federação tem suas dinâmicas alteradas, das quais se dá destaque para o uso do solo ocorrido de 1985 a 2014, como mostrado em Araújo Júnior e Tavares Júnior (2017).

Os *softwares* utilizados foram: (i) *PCI Geomatic* 10.0, o qual subsidiou a correção atmosférica e geométrica das imagens dos anos de 1985, 1995 e 2005, bem como a classificação supervisionada de todas as imagens, incluindo 2014; (ii) *ENVI 5.0* foi utilizado para fundir as bandas espectrais do Landsat 8 a banda pancromática com o intuito de obter um produto de 15 metros e 16 bits, possibilitando a geração de um produto mais completo em razão da maior variação colorida (superior a 60.000) por meio da ferramenta *Gram-Schmidt Pan Sharpening*; (iii) *Microsoft Office Excel* 2007 foi utilizado para cálculos estatísticos de correção atmosférica e cálculo do

OIF (*Optimum Index Factor*) para obtenção das três bandas a serem utilizadas no processamento digital das imagens para formar o RGB. Por meio do Excel também foram elaborados os gráficos de correção atmosférica; e (iv) ArcGis 10.0, o qual permitiu dar o acabamento aos produtos finais, sendo gerados os layouts dos mapas.

O uso de procedimentos tendo por base as geotecnologias ajudam a montar um cenário do que foi e o que pode vir a ser a cidade, dando uma visão geral dos impactos ocorridos e que podem ocorrer. Para tanto, a construção de mapas multitemporais tem como propósito dar esta visão e ajudam a vislumbrar cenários menos prejudiciais ao uso e ocupação de novas áreas.

Resultados e discussões

A presente seção foi dividida em dois tópicos que buscam mostrar resultados e apontar caminhos possíveis para o ordenamento ambiental (entenda-se social e físico) de Boa Vista-RR, com fins a minorar impactos negativos durante o processo de expansão que está ocorrendo.

Quando o passado se faz presente: risco à inundação e a alagamento em Boa Vista

Em seu processo de formação histórico-geográfico, Veras (2009) entende a produção do espaço urbano da capital do estado de Roraima, Boa Vista, como um produto histórico e social, subdividindo esta produção em três momentos: (i) quando estava sob a jurisdição do estado do Amazonas (1890-1943); (ii) criação do Território Federal do Rio Branco (1943) e implantação do Plano Urbanístico da cidade (1944) e (iii) Transformação do Território Federal de Roraima em Estado (1988).

O Estado enquanto agente político-jurídico esteve à frente das transformações espaciais mais significativas do estado de Roraima, fazendo com que o espaço fosse (re)ordenado de forma dinâmica e constante.

Mesmo o Estado sendo agente preponderante nas alterações ocorridas e em curso no estado de Roraima e na cidade de Boa Vista, cabe lembrar Souza (2004)

quando afirma que a cidade é um fenômeno gerado pela interação complexa, jamais plenamente previsível ou manipulável, de uma miríade de agentes modeladores do espaço, interesses, significações e fatores estruturais, sendo o Estado apenas um dos condicionantes em jogo (ainda que seja um condicionante crucial nas modernas sociedades capitalistas).

Neste ínterim, um breve apanhado da formação espacial da cidade de Boa Vista e de seus agentes formadores mostra que após a promulgação da Constituição Federal Brasileira de 1988 Roraima deixou de ser Território Federal e passou à condição de estado da República Federativa do Brasil e segundo Barros (1995) apesar de considerado um estado novo, sua ocupação data do final do século XVIII, quando os portugueses preocupados em garantir a colonização no Rio Branco, estabeleceram Fazendas Reais na região.

Oliveira (2008) ao retratar as transformações na configuração político-administrativa do estado de Roraima elenca as profundas conformações espaciais roraimenses, no âmbito político-econômico (por conta do processo de federalização e exploração/proteção de recursos naturais), cultural (maior contato com povos indígenas) e ambiental (consolidação e abertura de vias de acesso fluvial e terrestres).

A construção da BR-174 (interligação entre Brasil e Venezuela) na década de 1970 mostrou o descompasso entre as variáveis elencadas anteriormente, refletindo segundo Oliveira (2008) e Escobar (1998) a forma como os empreendimentos na Amazônia foram conduzidos, primando pelo desenvolvimento da região, tendo as populações locais como entraves para o avanço político e econômico.

O exemplo da BR-174 é bem significativo sobre o poder de transformação espacial da sociedade, pois sua implantação além de ter promovido intensos conflitos sociais, gerou grandes desflorestamentos, alterando as dinâmicas espaciais e imprimindo uma nova lógica na organização espacial.

Ao se caracterizar Boa Vista percebe-se traços de uma cidade planejada, com ruas largas e avenidas amplas, todas se dirigindo para o centro, com uma área de aproximadamente 5.711,9 km² (SEBRAE/RR, 2004). Esta cidade teve início com a “Fazenda Boa Vista”, fundada em meados de 1830 por Inácio Lopes de Magalhães, sendo que a abundância de água, os campos naturais e os buritizais que decoravam a paisagem local foram ideais para a pecuária (Magalhães, 1986).

“Em 09 de julho de 1890, Boa Vista passou à condição de cidade, sendo criado o recém município de Boa Vista. Em meados dos anos 1950, tornou-se a capital do então Território Federal de Roraima. As mudanças estruturais do traçado urbanístico da cidade devem-se ao engenheiro Darcy Aleixo Derenusson, que dirigiu uma equipe dos mais conceituados especialistas em urbanismo, esgotos sanitários, pluviais, abastecimento de água, energia elétrica com sua rede distribuidora” (Magalhães, 1986, p. 28).

Pinheiro, Falcão e Oliveira (2008) destacam que entre 1950 e 2007 a população do estado de Roraima saltou de 17.247 para 395.725 habitantes, um crescimento superior a 1.000 %. Tal crescimento ocorreu principalmente devido a ondas de migração, sendo as mais expressivas ocorridas nas décadas de 1970 e 1980 com a descoberta do garimpo e com a entrega da BR-174 totalmente pavimentada, extrapolando as tendências da dinâmica socioambiental.

Destaca-se que o crescimento populacional demanda o atendimento de uma necessidade básica que é a habitação, a qual vai buscar espaços para além dos planejados pelo poder público, incorrendo na ocupação de áreas impróprias e propícias a incidência de fenômenos desastrosos, como é o caso de populações que habitam planícies de inundação e estão sujeitas a riscos como inundações e alagamentos.

Segundo Diniz e Santos (2005) o território que hoje ocupa o Estado de Roraima ficou isolado por séculos. Somente após a construção das rodovias BR-174 e Perimetral Norte, é que se solucionaram em boa medida o crônico problema de acessibilidade, pois Roraima foi efetivamente “colocada” no mapa fazendo com que as taxas populacionais do Estado exibissem altos crescimentos demográficos nas duas últimas décadas.

Nas décadas de 1990 e 2000 a cidade de Boa Vista teve um amplo incremento populacional passando de 122.600 para 284.300, um aumento de 131,89 %, o que equivale a uma população de 63 % concentrada unicamente no espaço urbano de Boa Vista, permitindo dizer que este é o lócus de transformação espacial por excelência.

Fazendo uma apreciação mais acurada do processo de incremento populacional de Boa Vista, nota-se que há uma concentração populacional no urbano em razão não somente dos equipamentos urbanos existentes neste espaço, mas devido à fonte de renda mais pronunciada da região na qual se encerra Boa Vista, que seria a advinda do funcionalismo público, gerando uma “economia do contracheque”.

Dos 63 % de habitantes que estão fixados no município de Boa Vista, 94 % estão no espaço urbano e somente 6 % estão fixados no espaço rural, refletindo a pouca habilidade do estado em criar formas alternativas de incremento econômico para fixação do “homem” no campo ou a libertação do “contracheque” de quem habita a cidade.

A expansão da cidade pode ser sentida a partir da criação de novos bairros e segundo Vale (2007), com a Lei n.º 483, de 9 de dezembro de 1999, a cidade de Boa Vista, já com aproximadamente 200 mil habitantes, passou a ter um total de 49 bairros, assim distribuídos: 6 bairros na Zona Norte, 5 bairros na Zona Sul, 3 bairros na Zona Leste, 34 bairros na Zona Oeste, além do Centro.

Verifica-se com isso que há uma grande expansão para a zona oeste da cidade de Boa Vista (fig. 2) o que acaba por transformar e gerar novas dinâmicas espaciais, bem como propicia a ocupação de áreas impróprias e que podem vir a ser obstáculos futuros para o pleno desenvolvimento social.

A figura 2 retrata 30 anos de expansão da cidade de Boa Vista, sendo importante observar que áreas de corpos d’água antes não ocupadas passaram a integrar a malha

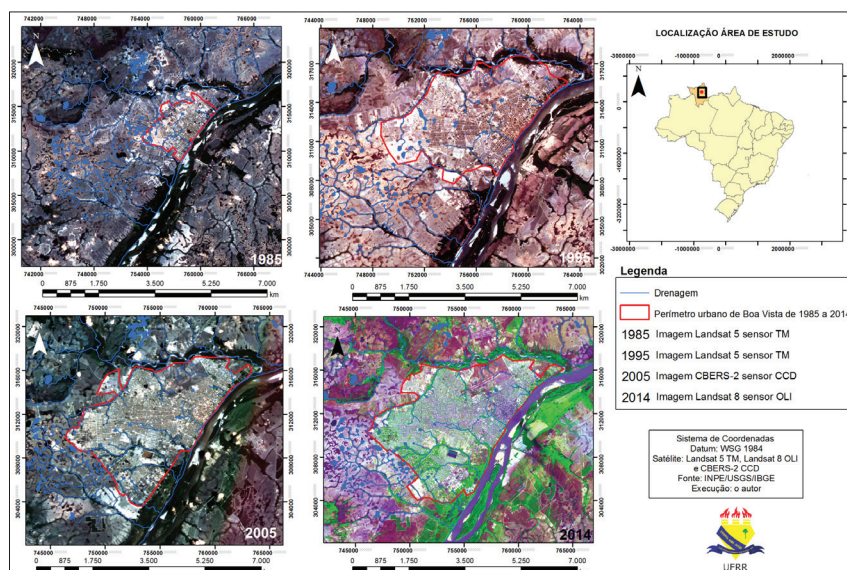


Fig. 2 - Mapa de expansão urbana da cidade de Boa Vista entre os anos de 1985 a 2014 (Fonte: Araújo Júnior, 2016).

Fig. 2 - Map showing urban expansion of the city of Boa Vista from 1985 to 2014 (Source: Araújo Júnior, 2016).

urbana da cidade, como nos casos do igarapé Caraná na porção noroeste da cidade e do igarapé Grande da porção oeste da cidade (ambos entre os anos de 1995 e 2004), cabendo analisar quais condições infraestruturais foram dadas para que estas ocupações fossem feitas, minimizando possíveis impactos oriundos do meio físico ou potencializados pela ação humana.

Há de se analisar também como as condições físicas vão influenciar qualitativamente nas condições de uso e ocupação do solo, pois como destaca Farias, Veras e Paixão (2012), Boa Vista possui uma geomorfologia plana levemente ondulada, com dissecação que varia de fraca a muito fraca, desenvolvida sobre rochas sedimentares, que constituem a formação do município, com cotas altimétricas com média de 70-80 m, ou seja, baixa declividade, o que favorece fenômenos de acumulação de água, como os alagamentos.

O fenômeno de acumulação das águas nas planícies de inundação e áreas próximas é mais propício entre os meses de abril a setembro, quando o período chuvoso pode se tornar mais intenso, uma vez que

“A cidade de Boa Vista encontra-se sob clima tropical úmido (Awi na classificação de Köppen). O verão chuvoso se estende normalmente de abril a setembro e o período seco de outubro a março. O mês de janeiro em geral é o mês mais seco, com precipitação média inferior a 60 mm. A precipitação média anual oscila em torno de 1.750 mm e a temperatura média anual é de 27,4 °C” (Meneses, Costa, Costa, 2007, p. 479).

Aspectos como relevo e clima devem ser considerados previamente ao processo de ocupação do espaço, mas segundo Farias, Veras e Paixão (2012) o crescimento urbano de Boa Vista, nas últimas décadas, ocorreu de modo rápido e principalmente no sentido sudoeste e oeste, englobando paulatinamente diversas bacias hidrográficas antes situadas fora da área urbana.

As bacias do Caraná, Caxangá, Frasco, Grande, Mirandinha e Pricumã localizadas integralmente na área urbana consolidada da cidade de Boa Vista precisam de uma análise mais acurada das relações sociais e naturais que as compõem. Todavia, não basta atribuir ao crescimento populacional toda a responsabilidade por fenômenos

de ordem natural como as inundações com afirmativas do tipo “estas famílias não deveriam ocupar estas áreas, pois são áreas de risco”.

Deve-se ter claro que os processos de uso do solo e ocupação urbana proporcionaram novas dinâmicas espaciais, as quais por conta de um planejamento inadequado promoveram a gênese ou intensificação de processos naturais sobre a sociedade, fala-se das inundações e alagamentos urbanos em Boa Vista.

A gestão desta problemática não deve ocorrer de forma unilateral por parte do poder público, sendo necessária a participação de toda a sociedade, incluindo aí pesquisadores das mais diferentes áreas do conhecimento, capazes não só de lidar com as problemáticas, mas dialogar com a população sobre origens e formas de se lidar com tais problemáticas, seguindo neste sentido os caminhos de Morin (2010), o qual afirmou que o pesquisador tem responsabilidade perante a sociedade e o homem, caso contrário este estaria escamoteando a realidade e impedindo com que a ciência avance com ética.

No entanto, tal responsabilidade não pode ser unicamente atribuída a pesquisadores, mas, serem cobradas alternativas do poder público, agente mediador das transformações que se processam sobre o espaço. Desde seu processo inicial de ocupação urbana a cidade de Boa Vista é um interessante espaço a se pensar, pois a partir de seu planejamento primeiro, no qual teve nas ruas concêntricas seu início, as transformações infraestruturais na cidade começaram a ocorrer por meio de engenharia (fot. 1).

As obras empreendidas na cidade de Boa Vista na década de 1940 tiveram como principal foco combater doenças de veiculação hídrica. Com isso as condições de infraestrutura vão apresentar significativa melhora para áreas que outrora não podiam ser ocupadas, refletindo no processo posterior de ocupação da cidade.

Intervenções sobre o espaço são fruto de esforço intelectual para proporcionar melhores condições de vida para a sociedade, todavia, coadunando com Russel (1969) a ciência aumenta o nosso poder sobre o bem e sobre o mal, havendo, portanto, a necessidade de reprimir os impulsos destrutivos, ou seja, repensar ações que a curto, médio e longo prazos possam ser revertidas negativamente sobre a sociedade.

Sendo assim é importante pensar que as transformações físico-espaciais do passado representam o pensamento político da época, no entanto, estas refletem



Fot. 1 - Transformações estruturais da cidade de Boa Vista ocorridas durante 1940.

A-C) Galerias de águas pluviais: A) Rua Benjamin Constant, B) Rua Jaime Brasil e C) Rua 5 de setembro; D) tampão de caixa de areia, Rua Jaime Brasil

(Fonte: Acervo de Darcy Romero Derenusson apud Veras, 2009).

Photo 1 - Structural changes in the city of Boa Vista during 1940. A-C) Stormwater galleries: A) Rua Benjamin Constant, B) Rua Jaime Brasil and C) Rua 5 de Setembro; D) Sandbox cap, Rua Jaime Brasil (Source: Acervo de Darcy Romero Derenusson apud Veras, 2009).

no presente consequências que têm impacto negativo sobre a sociedade (fot. 2), logo devem ser tomadas em conta para se repensar ações no presente para que não reflitam consequências negativas futuras.

Ações passadas na cidade de Boa Vista acabaram por sanar problemas de ordem sanitária e hídrica, no entanto, o que se percebe é que fenômenos como as inundações acabaram por se deslocar espacialmente na cidade e afetar outras áreas.

Torna-se importante pensar ações que vão além de intervenções pontuais para sanar problemáticas relacionadas à inundação, mas tornar ações de intervenção atividades preventivas de eventos danosos e assim minimizar os impactos negativos de fenômenos naturais recorrentes espacialmente.

O modelo de intervenção infraestrutural (de forma isolada) não vem correspondendo as expectativas, pois não considera plenamente aspectos hidroclimatológicos



Fot. 2 - Alagamentos na cidade de Boa Vista:

A) Escoamento insuficiente de vias e B) acúmulo de água após alguns dias sem chuva (Fontes: Diane Sampaio/Folha BV, 2018) e Nilzete Franco/Folha BV, 2018).

Fot. 2 - *Flooding in the city of Boa Vista:*

A) *Insufficient road runoff, and B) Accumulation of water after a few days without rain* (Sources: Diane Sampaio/Folha BV, 2018 e Nilzete Franco/FolhaBV, 2018).

e pedogeomorfológicos, sendo necessário haver um incremento desta medida, a qual é indispensável para promover o escoamento das águas pluviais. Logo, pensar estratégias presentes é planejar o futuro para mitigar tal problemática.

O futuro bate a porta: vislumbrando Boa Vista 2048

Após 1980 foram incorporadas novas áreas a cidade, mediante a proliferação desordenada de loteamentos, respondendo especialmente a interesses políticos de assentamentos de migrantes que eram induzidos a se deslocarem para Boa Vista (Silva, 2009). A zona oeste acabou por concentrar grande parte deste quantitativo, fazendo com áreas de nascentes fossem ocupadas, suprimindo-as e transformando o espaço, intensificando ou mesmo gerando áreas de risco à inundação e alagamento.

A formação lacustre da zona oeste da cidade de Boa Vista começa a desaparecer após o intenso processo de ocupação de suas áreas após 1985 e mesmo Latrubesse e Nelson (2001) descrevendo os lagos inseridos na Formação Boa Vista como pequenos e rasos, alguns sazonais e outros permanentes, o que vai se perceber ao longo da história é que impactos foram gerados e/ou intensificados.

Segundo Junk (1983) alguns lagos da região de Boa Vista são sazonais, ou seja, o espelho d'água geralmente surge no período chuvoso e desaparece no período

seco, ficando somente a depressão exposta. Outros simplesmente reduzem o volume d'água no período seco e aumentam no período chuvoso.

A redução do volume de água dos lagos no período de estiagem (mais de 6 meses), vem acompanhada do processo de ocupação dos espaços "livres", pois de acordo com Pinheiro (2007) ocorre a secagem da água acumulada e a deposição dos sedimentos em suspensão, alguns lagos desaparecem da paisagem ou formam círculos concêntricos brejosos. Neste momento, fazem-se dragagens ou simplesmente aterram-se estas áreas, as quais se tornam hábeis a ocupação, com endosso do poder público.

No entanto, mesmo os lagos de Roraima apresentando profundidade variando de 1,0 a 1,5 metros em média, bem como pequenas dimensões girando em torno de 10 – 100 metros de diâmetro (Simões Filho *et al.*, 1997), seu aterramento não resolve problemas relacionados a inundações e alagamentos, visto que mesmo aterrados as ocupações permanecem nas planícies de inundação dos lagos.

No período chuvoso ocorre o transbordamento e interligação entre alguns dos lagos e mesmo estando aterrados há de se considerar o fator lençol freático, o qual segundo Ávila (2008) é em geral pouco profundo, em média 6,3 metros de profundidade durante o período de estiagem. O autor ainda destaca que o nível freático mais profundo, em torno de 10 metros, foi observado no bairro Cidade Satélite (zona noroeste da cidade) e o nível mais raso foi observado, nas zonas sudoeste e sul da cidade, variando de 1,35 a 4,00 metros.

Os lagos da região de Boa Vista são nascentes das bacias hidrográficas presentes na cidade e o observado é que o processo de ocupação ocorreu de forma a não considerar os elementos físicos como integrantes deste processo. Períodos chuvosos fazem afloramentos de água oriundos do lençol freático pouco profundos surgirem, ocasionando problemas relacionados a drenagem, potencializando o risco à inundação e alagamento, devido a concentração prolongada da água.

O processo de expansão de Boa Vista em direção aos lagos, anteriormente existentes na cidade, bem como sobre aqueles ainda existentes (fig. 3).

Para Meneses, Costa e Costa (2007) devido à acelerada e desordenada expansão urbana, a cidade de Boa Vista vem sofrendo sérios impactos ambientais que incluem a extinção precoce de muitos lagos e brejos e o comprometimento da qualidade das

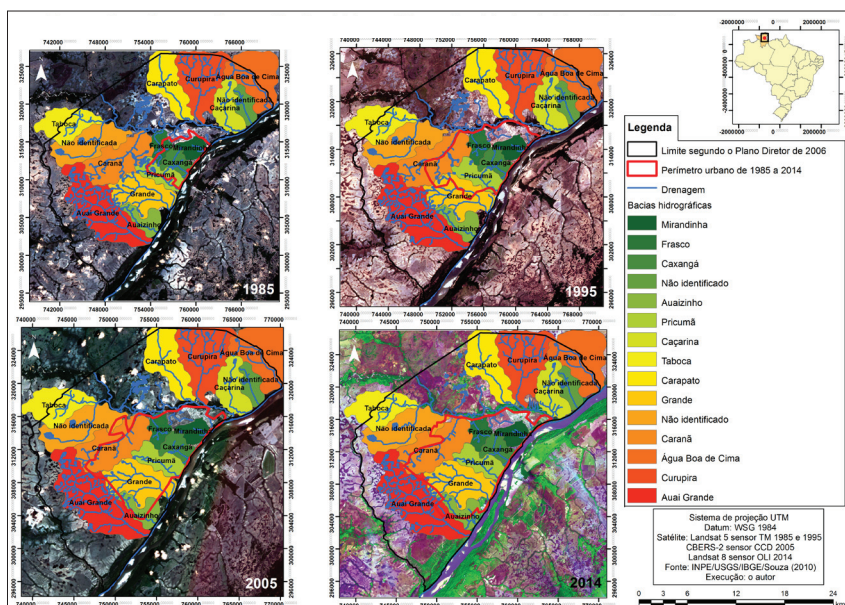


Fig. 3 - Supressão de cursos d'água pela expansão urbana (Fonte: Araújo Júnior, 2016).

Fig. 3 - Suppression of watercourses because of urban expansion (Source: Araújo Júnior, 2016).

águas lacustres através de práticas antrópicas tais como, a lavagem de roupas e o lançamento indiscriminado de efluentes domésticos em suas bacias.

Fica evidente de acordo com a figura 5 acima que o processo de expansão de Boa Vista foi bem intenso nos últimos 30 anos e o perímetro urbano revela isso. Em 1985 o perímetro urbano perfazia 31,27 km², passando para 77,25 km² de perímetro em 1995, ou seja, um aumento percentual de 119,04%, mais que duplicando a área ocupada.

Já em 2005 o perímetro urbano totalizava 113,41 km², registrando um crescimento de 31,88% de área ocupada e em 2014 houve aumento percentual de 8,68%, estando o perímetro urbano com 124,19 km² como mostra a fig. 2.

Tais avanços do perímetro urbano repercutem sobre as bacias hidrográficas, pois em 1985 tinham-se efetivamente ocupadas as bacias do Mirandinha, Caxangá, Picumã e Frasco (está última tendo suas nascentes ocupadas) e em 1995 a bacia do Caraná e do Grande entram nesta dinâmica de uso do solo.

Para o ano de 2005 a bacia do Grande, em quase sua totalidade, passa a integrar a malha urbana da cidade de Boa Vista, tendo suas nascentes bastantes comprometidas, bem como a bacia do Auaizinho que é inserida neste processo

No ano de 2014, o processo de expansão em direção a zona oeste, o qual englobou em sua totalidade a bacia do Grande e do Auaizinho, passa a adentrar a bacia do Auai Grande, pertencente ao atual limite oeste-sul da cidade de Boa Vista (fig. 3).

Falcão *et al.* (2012) em estudo realizado na bacia do Auai Grande, mostrou a fragilidade e vulnerabilidade que o corpo hídrico está sendo exposto pela forma de uso e ocupação da terra no perímetro urbano da cidade Boa Vista-RR em razão do aterro sanitário público estar localizado na área de influência da referida bacia.

Mecanismos de controle devem ser pensados para ordenar os usos na bacia do Auai Grande, caso contrário espera-se que ocorra o mesmo que aconteceu com a bacia do Grande, na qual segundo Menezes e Costa (2007) os impactos mais visíveis estão representados pelo aumento da poluição hídrica, assoreamento, ocupação predial em margens, e no leito dos cursos d'água, remoção de mata ciliar, erosão e queimadas, revelando uma urbanização desordenada, que transgride a legislação existente, e demonstra frágil intervenção governamental.

Considerando as dinâmicas urbanas e o crescimento populacional de Boa Vista, constata-se que áreas próximas aos cursos d'água foram e são ocupadas, corroborando para a extinção de muitas nascentes, localizadas em boa parte na zona oeste.

As bacias hidrográficas são importantes unidades de diagnóstico ambiental, pois permitem que se vislumbre as inter-relações que ocorrem entre a natureza e a sociedade, tornando mais eficiente o planejamento ambiental na cidade, desde que esta relação seja considerada como indissociável e imprescindível para que o uso do solo e a ocupação urbana ocorram de forma a reduzir os impactos no espaço e minimize futuros impactos ambientais, como a extinção de mais nascentes que ainda estão presentes em Boa Vista.

Em termos de planejamento, espera-se que os apontamentos aqui realizados sejam um norte para que empreendimentos imobiliários (individuais ou empresariais) futuros, possam ser desenvolvidos em áreas adequadas e livres de problemas relacionados a inundações e alagamentos.

Para Boa Vista ter mais 30 anos de pleno desenvolvimento, relembrar o passado de forma constante e ter clareza de que a gestão da cidade no presente é satisfatória em alguns pontos e em outros não, torna-se tarefa do cotidiano, não somente dos gestores, mas da sociedade civil ordenar os usos e as ocupações com aparato espacial adequado para seu bem estar e sua reprodução.

Boa Vista 2048 tem potencial positivo para existir, desde que aspectos físicos e sociais sejam considerados no processo global e local de planejamento citadino no sentido de evitar que áreas de risco à inundação e com média e alta probabilidade de ocorrência de alagamentos sejam devidamente evitadas e ocupadas respeitando os limites ambientais das áreas, respectivamente.

Considerações finais: em princípio, longe do fim

O resgate histórico no concernente a temática do risco é um exercício que deve ser empreendido para que haja um nível ótimo de conhecimento da problemática analisada. Para a cidade de Boa Vista, percebeu-se que intervenções de cunho infraestrutural (aterro, drenagens, canalização, impermeabilização do solo) ao não considerar dinâmicas hidroclimatológicas e pedogeomorfológicas, subdimensionaram as áreas que seriam e/ou foram ocupadas, acarretando a gênese e/ou a intensificação de zonas de risco à inundação e a alagamento.

A planície de inundação do Rio Branco (principal drenagem da cidade) foi totalmente preenchida, e com a impossibilidade de escoamento, as águas ficaram acumuladas em seu transbordo, ocupando o leito maior e excepcional das principais drenagens. O evento de inundação assumiu proporções inesperadas, porém passíveis de serem previstas e mesmo de se trabalhar de forma a minimizar os impactos sobre a população, a qual sofreu principalmente com perdas materiais.

Entender as dinâmicas biofísicas e socioeconômicas foram e são fatores preponderantes na análise do risco a inundação e para a cidade de Boa Vista e a consideração de fatores regionais como pluviometria, hidrografia, formação geomorfológica (declividade e altimetria), e fatores externos como eventos ENOS associados a aspectos socioeconômicos (renda *per capita*, tipo de residência, escolaridade)

locais e regionais são a base para analisar como as inundações ocorrem, quais elementos contribuem para sua evolução e quais são os agentes sociais mais atingidos.

A consulta a bancos de dados governamentais nacionais como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) são essenciais para obtenção de dados socioeconômicos e de geovisualização (imagens de satélite), respectivamente, bem como imagem de satélite em escala de detalhe (Landsat 8) obtidas do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) se constituem em importante instrumental para a construção de um mapeamento que forneceu apontamentos em escala de 1:200:000.

As análises integrando fatores biofísicos e socioeconômicos são essenciais para se montar um quadro geoespacial do risco a inundação na cidade de Boa Vista e apontar áreas potencialmente perigosas e socialmente vulneráveis, corroborando para situar espacialmente áreas propícias ao uso do solo e ocupação urbana.

Assim, o passado e o presente confluem para que haja um ordenamento espacial menos agressivo sobre as ocupações e usos urbanos futuros. Boa Vista 2048 será fruto de um planejamento contínuo que atrele aspectos físicos e sociais e a participação efetiva da sociedade nas esferas decisórias de intervenção. A decisão sobre qual é ou será o melhor procedimento a ser adotado para lidar com os riscos vivenciados em Boa Vista em princípio demandam articulações políticas e sociais, as quais decorrem de rearranjos espaciais contínuos no tempo, ou seja, uma conclusão final e definitiva está longe de ser alcançada.

Referências

- Araújo Júnior, A. C. R. (2016). *Uso do solo e risco à inundação na cidade de Boa Vista-RR. 140 f. (Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais)*. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista.
- Araújo Júnior, A. C. R., Tavares Júnior, S. S. (2017). Uso e cobertura do solo para o planejamento urbano, Boa vista, Roraima, Brasil. *Bol. Goia. Geogr. (Online)*, v. 37, n. 1, 36-55.
- Ávila, I. C. S. S. (2007). *Caracterização preliminar do subsolo da área urbana de Boa Vista RR, a partir de sondagens de simples reconhecimento (Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais)*. Núcleo de Biotecnologia, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 88 p.
- Barros, N. C. C. (1995). *Roraima: paisagens e tempo na Amazônia setentrional*. Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 269 p.

- Diniz, A. M. A., Santos, R. O. (2005). O vertiginoso crescimento populacional de Roraima e seus impactos socioambientais. *Caderno de Geografia*, Belo Horizonte, v. 15, n. 25, 23-44.
- Escobar, M. C. S. B. (1998). Populações tradicionais e as políticas públicas para a Amazônia: os Waimiri-Atroari e a BR-174. In: Alves, C. L. E. (Org.). *Formação do espaço amazônico e relações fronteiriças*. Boa Vista: UFRR/CCSG, 209-217.
- Falcão, M. T., de Campos Buás, A. I., Pinheiro, M. D. N. M., & de Oliveira, S. K. S. (2012). Impactos ambientais no igarapé Wai Grande em Boa Vista - Roraima decorrentes da influência do aterro sanitário. *Revista Geonorte*, Edição Especial, [s.l.], v. 3, n.º 4, 199-207.
- Farias, M. V. A.; Veras, A. S. S., Paixão, S. U. A. (2012). Degradação do corpo hídrico no urbano em Boa Vista—RR. *Textos & Debates*, Boa Vista, [S.l.], v. 1, n.º 18, 129-138.
- Junk, W. J. (1983). As águas da Região Amazônica. In: SALATI, E. et al. *Amazônia; Desenvolvimento, Integração e Ecologia*. São Paulo: Brasiliense, 45-100.
- Kanai, J. M., Oliveira, R. S., Silva, P. R. F. (2012). Pavimentando Roraima: A BR-174 como exemplo das lógicas neoliberais de transnacionalização do território na Amazônia Ocidental. *Soc. & Nat.*, Uberlândia, v. 24, n.º 1, 67-82.
- Kanai, J. M., Oliveira, R. S. (2014). Paving (through) Amazonia: neoliberal urbanism and the reperipheralization of Roraima. *Environment and Planning*, v. 46, [s.n.], 62-77.
- Latrubesse, E. M., Nelson, B. W. (2001). Evidence for Late Quaternary Aeolian Activity in the Roraima-Guyana Region. *Rev. Catena*, Amsterdam, v. 43, n.3, 63-80.
- Magalhães, J. P. (1986). *Recursos Naturais, Meio Ambiente e sua Defesa no Direito Brasileiro*. Rio de Janeiro: FGV, 76 p.
- Meneses, M. E. N. S., Costa, M. L., Costa, J. A. V. (2007). Os lagos do lavrado de Boa Vista - Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. *Revista Brasileira de Geociências*, [s.l.], v. 37, n. 3, 478-489.
- Menezes, M. E. N. S., Costa, J. A. V. (2007). Urbanização do setor sudoeste de Boa Vista-RR e implicações ambientais na microbacia igarapé Grande-Paca. *Revista Acta Geográfica*, Boa Vista, v. 1, [s.n.], 67-81.
- Morin, E. (2010). A responsabilidade do pesquisador perante a sociedade e o homem. In: Morin, E. *Ciência com consciência*. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 117-123.
- Oliveira, R. S. (2007). As transformações na organização espacial do estado de Roraima: uma conversa inicial a partir da BR-174. *Revista Acta Geográfica*, v.1, n.º 1, 45-65.
- Oliveira, R. S. (2008). As transformações na configuração político-administrativa do estado de Roraima: um panorama a partir da implantação do federalismo. In: Silva, P. R. F., Oliveira, R. S (Org.). *Roraima 20 anos: as geografias de um novo estado*. Boa Vista: Editora da UFRR, 46-87.
- Pinheiro, M. N. M. (2007). *Análise morfométrica de lagos nas áreas aplainadas do nordeste de Roraima - Brasil (Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais)*. Núcleo de Biotecnologia, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 106 p.
- Pinheiro, M. N. M., Falcão, M. T., Oliveira, S. K. S. (2008). Processos de urbanização e mudanças na paisagem de Boa Vista/RR. In: Silva, P. R. F., Oliveira, R. S. (Org.). *Roraima 20 anos: as geografias de um novo estado*. Boa Vista: Editora da UFRR, 194-223.

- Russel, B. (2004). A perspectiva científica. São Paulo: Cia Editora Nacional, 1969. 114 p. Serviço de Apoio às Micro E Pequenas Empresas de Roraima - SEBRAE/RR. *Elementos da iconografia de Roraima*. Boa Vista, 71 p.
- Silva, P. R. F. (2009). Boa Vista: gênese espontânea e gênese induzida. *Revista Acta Geográfica*, Boa Vista, v. 1, n.º 5, 63-71.
- Simões Filho, F., Turcq, B., Carneiro Filho, A., Souza, A. G., Barbosa, R. I., Ferreira, E. J. G., & Castellón, E. G. (1997). Registros sedimentares de lagos e brejos dos campos de Roraima: Implicações paleoambientais ao longo do Holoceno. In: Barbosa, R. I., Ferreira, E. J. G., Castellon, E. G. (Org.) *Homem, Ambiente e Ecologia no estado de Roraima*. Manaus, INPA, 295-302.
- Souza, C. R. G. (2004). Risco a inundação, enchentes e alagamentos em regiões costeiras. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: GEDN/UFSC, 231-247.
- Vale, A. F. (2007). *Migração e territorialização: as dimensões territoriais dos nordestinos em Boa Vista, RR (Tese de Doutorado em Geografia)*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual “Julio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 270 p.
- Veras, A. T. R. (2009). *A produção do espaço urbano de Boa Vista – Roraima. (Tese de Doutorado em Geografia Humana)*. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 235 p.

**GESTÃO DO RISCO DE INUNDAÇÕES EM
PETRÓPOLIS (RJ – BRASIL). INTERFACE ENTRE
DIFERENTES POLÍTICAS PÚBLICAS
FLOOD RISK MANAGEMENT IN PETRÓPOLIS
(RJ - BRAZIL). INTERFACE BETWEEN DIFFERENT
PUBLIC POLICIES**

Jacques Manz

Universidade do Porto
Faculdade de Letras, Departamento de Geografia (Portugal)
Cotutela - Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Geociências, Departamento de Geografia (Brasil)
ORCID: 0000-0002-0769-4012 manzjacques@gmail.com

Raul Reis Amorim

Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Geociências, Departamento de Geografia (Brasil)
ORCID: 0000-0001-7358-6696 raulreis@unicamp.br

Carmen Ferreira

Universidade do Porto, CEGOT
Faculdade de Letras, Departamento de Geografia (Portugal)
ORCID: 0000-0002-8783-933X dra.carmenferreira@gmail.com

Resumo: Esse capítulo propõe analisar a interface entre a Política Nacional de Recursos Hídricos, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, bem como a interlocução entre as instâncias de representação associadas a essas políticas e a gestão do risco de inundações em Petrópolis. Para tanto, além da análise da legislação vigente e dos documentos (planos de gestão) relacionados às políticas públicas supracitadas foram realizadas entrevistas com gestores das instâncias responsáveis por esses documentos. Embora as políticas públicas em questão expressem, direta ou indiretamente, preocupação

com as inundações e apontem a importância de ações integradas de gestão, não foram encontradas ações consolidadas que promovam a integração dessas políticas quanto à gestão do risco de inundações, assim como ficou evidente, nas entrevistas, a falta ou a incipiente articulação entre as instâncias analisadas frente ao tema.

Palavras-chave: Articulação intersetorial, ações preventivas, desastre hidrológico.

Abstract: The frequent disasters associated with river floods in Petrópolis are the result of the occupation of areas susceptible to this natural phenomenon by a vulnerable population. This requires the public authorities to instigate a comprehensive and integrated flood risk management programme that coordinates a number of public policies. This chapter proposes to analyse the interface between the National Policy on Water Resources, the National Policy on Protection and Civil Defence and the National System of Conservation Units, as well as the dialogue between the representative bodies associated with these policies regarding flood risk management in Petrópolis. For this, in addition to the analysis of the current legislation and documents related to the above-mentioned public policies (Watershed Plan, the Petrópolis Risk Reduction and Contingency Plans, and the Management Plan), interviews were held with managers of the bodies responsible for these plans, namely the Piabanha Watershed Committee, the Municipal Department of Protection and Civil Defence of Petrópolis, and the Serra dos Órgãos National Park. Although the public policies in question express, directly or indirectly, a concern with floods and point to the importance of integrated management actions, no consolidated actions were found that promote the integration of these policies regarding flood risk management. It was also evident in the interviews that articulation between the bodies dealing with the issue is either non-existent or rudimentary, even though the interviewees used the terms coordination, integration, and similar in their conversations.

Keywords: Intersectoral, preventive actions, hydrological disaster.

Introdução

As inundações fluviais são fenômenos naturais caracterizados pelo transbordamento d'água do curso fluvial que atinge a planície de inundação ou área de várzea (Tominaga *et al.*, 2011) e apenas representam risco ao avançar sobre um sistema social, ocasionando potencial situação de prejuízo a pessoas e bens (Souza e Lourenço, 2015). Assim, o risco de inundação combina a probabilidade de inundações e suas potenciais consequências (Portugal, 2010) e depende da ocupação de uma área suscetível a ser inundada por uma população vulnerável.

No Brasil, o processo de urbanização acelerado e sem planejamento, aliado às desigualdades sociais, tem levado à ocupação de áreas de risco de inundação, colocando o país entre os quinze (15) com a maior população exposta ao risco de inundações fluviais do mundo (OCHA, 2020). Essa ocupação, que nos primórdios do processo de povoamento buscava fixar-se próximo das fontes de água, na atualidade, ocorre com a “[...] *mediação do mercado imobiliário no acesso à habitação, ou seja, com a concretização da distribuição desigual do desenvolvimento no plano do espaço urbano*” (Silva, 2015, p. 58).

Após a plena manifestação do risco, tem-se a crise (Lourenço, 2008) que, no Brasil, independentemente do nível, denominamos “desastre”. Nas últimas duas décadas, aproximadamente 70 eventos de desastres relacionados com as inundações afetaram quase 70 milhões de pessoas no país (OCHA, 2020). Assim, os desastres hidrológicos, registrados entre 2000 a 2017, atingiram 51,5 % dos municípios brasileiros, sendo responsáveis por 6.164 das situações de emergência reconhecidas (Brasil, 2018). Além disso, entre 2013 a 2016, cerca de 27,2% dos municípios brasileiros declararam terem sido atingidos por inundações graduais (enchentes), sendo ainda 28,5 % por inundações bruscas (enxurradas) e 31 % por alagamento (IBGE, 2017).

Considerando os dados expostos, as políticas públicas que se antecipam ao desastre, atuando na gestão integral e integrada do risco, merecem destaque. Desse modo, a gestão do risco de desastres abarca o conjunto de atividades e processos de recursos e capacidades de atores e responsabilidades necessários para a redução dos desastres no tempo (redução da frequência) e no espaço (redução da abrangência). Assim sendo, essa gestão deve ser integral, contemplando todo o ciclo do desastre (prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação) e integrada, para que seus elementos constituintes não sejam tratados de forma isolada (Míguez *et al.*, 2018).

Com isso, a gestão do risco recobre uma série de políticas, obras, medidas e dispositivos (Almeida e Pascoalino, 2009). Partindo do entendimento de política pública como “*aquilo que os governos escolhem fazer ou não fazer*” (Dye, 2005), corroboramos com a definição de Saravia (2006) de política pública como um sistema de decisões públicas que contempla ações ou omissões (preventivas ou corretivas), a partir de objetivos e estratégias de atuação, bem como de alocação dos recursos. Geralmente, a maior parte das políticas públicas é pensada de forma setorial ou temática, provocando a verticalização da atuação, onde cada setor elabora, implementa, monitora e avalia a sua política (Silva, 2020). Entretanto, a interface refere-se à interrelação de diversas políticas públicas setoriais (Azevedo, 2003), aproximando-se, assim, da definição de intersectorialidade. Para Nascimento (2010), na intersectorialidade, a integração dos setores gera novos saberes e, de forma geral, para compreendê-la, alguns termos são utilizados: articulação, integração, associação, união, cooperação, em conjunto e em parceria, por exemplo.

À propósito, na gestão pública brasileira, conforme Marcondes *et al.* (2018), a intersectorialidade nas políticas está associada à integração de ações de diversos órgãos em um trabalho em conjunto, e se materializa no nível decisório, nos arranjos institucionais, nas metodologias de trabalho e nas práticas operativas (Bronzo e Veiga, 2007). Tendo isso em vista, especificamente na gestão do risco de desastres, a característica intersectorial emerge dos aspectos relacionados ao ambiente natural e à ocupação humana (Dulac e Kobiyama, 2017). O principal desafio imposto à legislação brasileira (políticas urbanas, ambientais e hídricas) é a construção de caminhos que possam viabilizar a permanente integração entre essas políticas, visto que obedecem a lógicas diferentes e, muitas vezes, conflitantes (Alvim *et al.*, 2008). Com relação a esse aspecto, dentre outros fatores, a fragmentação institucional e de ações, no contexto da gestão dos recursos hídricos, está relacionada ao problema das inundações (Christofidis, 2001).

Dito isso, considerando que a legislação brasileira prevê a atuação de diferentes instâncias na gestão do território no que tange aos recursos hídricos, e que a gestão integrada do território possibilita a implementação de ações efetivas em áreas suscetíveis a inundações, o objetivo deste capítulo é analisar a interface existente entre a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) frente à gestão do risco de inundação em Petrópolis - Rio de Janeiro.

Para tanto, buscamos identificar nas leis e nos planos de gestão das políticas públicas supracitadas (Plano de Bacia Hidrográfica, Plano de Redução de Risco, Plano de Contingência e Plano de Manejo) práticas que contemplem o gerenciamento dos riscos de inundação e apontem para a articulação de políticas públicas. Também buscamos, através de entrevistas realizadas com os gestores do Comitê de Bacia Hidrográfica Piabanha (CBH Piabanha), da Secretaria Municipal de Defesa Civil de Petrópolis (SEMPDEC) e do Parque Nacional Serra do Órgãos (PARNASO), compreender como as possíveis articulações se materializam na prática.

Contextualizando as inundações em Petrópolis ao longo do tempo

O município de Petrópolis está localizado na Região Serrana do Rio de Janeiro, possui uma área territorial de 791,144 km² (IBGE, 2020) e uma população de 295.917 habitantes (IBGE, 2010), que se concentra na zona urbana (95,1%). Os principais núcleos urbanos têm ocupação no início do século XIX em regiões intermontanas e em fundo de vales, alcançando as encostas íngremes e se expandindo pelo vale do rio Piabanha (Gonçalves, 2008).

Com altitude média de 840 m e apresentando um relevo dissecado, encravado em vales de águas (talwegues), com diversos pontos de elevação (morros e escarpas serranas) e com pluviosidade média anual de 1929 mm, o município torna-se propício a concentrar pontos que recebem as águas advindas das áreas de topos e encostas, formando enxurradas e se acumulando em partes mais baixas (Petrópolis, 2021). O rio Quitandinha, que atravessa uma área extremamente urbanizada no centro da cidade de Petrópolis, e o rio Santo Antônio, em seu trecho no bairro Cuiabá, são exemplos de transbordamentos frequentes (Petrópolis, 2021). Logo, o crescimento acelerado e desordenado da zona urbana com a ocupação irregular de áreas suscetíveis a inundações e deslizamentos tem resultado ao longo da história em diversos desastres como o de 1988 (fot. 1), que deixou 200 mortos e mais de 1.000 desabrigados, sendo o mais letal da história¹.

¹ O primeiro registro de inundação em Petrópolis data de 1850 com grandes enchentes ocorridas em 1856, 1897, 1829, 1945 e 1965, além de outras de grande magnitude em 1905, 1924, 1935 e 1964 (Assumpção, 2015).



Fot. 1 - Desastre em Petrópolis em 1988 (Fotografia: Defesa Civil, tirada em 01/02/1988, URL: <https://s2id-search.labtrans.ufsc.br/>)

Photo 1 – Disaster in Petropolis in 1988 (Photograph: Civil Defense, taken on 02/01/1988, URL: <https://s2id-search.labtrans.ufsc.br/>)

Nesse sentido, no século XXI, das chuvas ocorridas em 2001, 2004, 2008, 2011 e 2013 que impactaram o município, cabe enfatizar a de 2011 (fot. 2), associada ao grande desastre (deslizamentos e inundações) que assolou a Região Serrana do Rio de Janeiro, deixando mais de 900 mortos e 4.500 desabrigados. Silva *et al.* (2019) apresentam várias iniciativas do Governo Federal após esse desastre que evidenciam o empenho na redução do risco de desastre. Entretanto, para os autores, alguns projetos são bem semelhantes, não interagem entre si e não têm sido capazes de reduzir os riscos e as vulnerabilidades físicas, sociais e ambientais nos municípios, o que pode levar ao desperdício de recursos públicos.



Fot. 2 - Desastre em Petrópolis em 2011 (Bernardo Tabak/G1, tirada em 2011).

Fot. 2 - Disaster in Petropolis in 2011 (Bernardo Tabak/G1, taken in 2011).

URL: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2021/01/11/confira-imagens-marcantes-da-tragedia-de-2011-na-regiao-serrana-do-rj.ghtml>

É importante salientar que constam no banco de dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), entre os anos 2000 e 2016, desastres ocorridos em todo o território nacional, dentre os quais destacamos na (TABELA I) os registrados em Petrópolis e seus respectivos danos. Foi necessário considerar todos os desastres, visto que, na descrição dos eventos nos sistemas de registro (FIDE, AVADAN)², as inundações, alagamentos, enxurradas e deslizamentos estão sempre associados, ainda que no título do documento esteja discriminado apenas um deles. Percebemos também que, em alguns casos, intitula-se um evento como enxurrada, mas na descrição identificamos que se tratou de uma inundação, o que evidencia a imprecisão no registro.

TABELA I - Danos causados por desastres em Petrópolis
TABLE I - *Damage caused by disasters in Petrópolis.*

Data	Evento	Danos Humanos (n.º afetados)	Danos Materiais (Edificações R\$)	Danos Econômicos (atividades econômicas R\$)	Danos Sociais
02/01/2001	Enxurrada	0	3.061.000	0	0
24/12/2001	Enchente	10.230	16.628.000	6.808.350	6.664.000
11/01/2003	Enxurrada	1.512	3.202.000	3.614.000	7.006.000
21/12/2004	Enxurrada/ deslizamento	0	4.722.000	120.000	42.000
04/01/2007	Deslizamento	30.000	10.010.000	244.000	11.485.480
03/02/2008	Enxurrada	45.000	11.010.000	703.580	369.200
19/01/2009	Deslizamento	6.000	320.000	25.000	67.000
10/10/2009	Deslizamento	6.200	111.000	0	97.000
04/12/2009	Deslizamento	10.000	3.039.000	0	64.000
12/01/2011	Enxurrada	50.000	130.000	19.980.000	1.831.000
17/03/2013	Deslizamento	152.277	62.000.500	94.668.553	11.175.105,13
08/02/2015	Enxurrada	102	11.700,00	0	71.000
15/01/2016	Enxurrada	125.523	25.377.400	10.781.873,42	27.613.279,91
14/11/2016	Enxurrada	5.028	2.600.000	0	0
14/11/2016	Tempestade	5.032	2.595.000	1.153.991,20	3.089.166,88
TOTAL		446.904	144.817.600	138.099.347,6	69574231,92

Fonte/Source: S2id

² Formulário de Informação do Desastre (FIDE), Avaliação de Danos (AVADAN).

Convém mencionar que, nas especificidades dos danos humanos, obteve-se um total de 190 vítimas fatais, 515 feridos e 8.333 desabrigados ou deslocados nos 15 eventos registrados, dentre os quais 8 geraram situação de emergência ou estado de calamidade pública. Nota-se que, a partir de 2016, embora não constem no S2ID como desastres, os episódios de inundações não deixaram de ocorrer na bacia hidrográfica do rio Piabanha. Segundo o boletim meteorológico do Instituto Estadual do Ambiente - INEA (2020), foram contabilizados, entre 2017 e 2019, trinta e seis episódios de inundação e alguns deles causaram danos e transtornos à população, como revelam as reportagens 1, 2 e 3 do Portal G1/Região Serrana (fig. 1), de 15/05/2019, 08/01/2020 e 16/11/2020, respectivamente.



Fig. 1 - Reportagens recentes sobre danos causados por inundações em Petrópolis (Fonte: G1/Região Serrana, 2020).

Fig. 1 - Recent reportage on damage caused by floods in Petrópolis (Source: G1/ Serrana Region, 2020).

Políticas Públicas e gestão de risco de inundação

Neste tópico são abordadas a dimensão institucional das políticas públicas analisadas (leis e instâncias de representação), bem como a dimensão material representada pelos planos de gestão que dão forma às políticas públicas através de seus objetivos, programas de ações e investimentos de recursos previstos. Considerando a extensão das leis e planos, destacamos somente os pontos que dialogam com as articulações frente à gestão de risco de inundação.

Da dimensão institucional: políticas públicas setoriais

Primeiramente, faz-se necessário ponderar o ano de criação das políticas analisadas. A PNRH é a mais antiga, de 1997, e foi instituída pela Lei n.º 9.433; já o SNUC, foi instituído em 2000 pela Lei n.º 9.985; e a PNPDEC, a mais recente, foi instituída pela Lei n.º 12.608, de 10 de abril de 2012. Essa ponderação é pertinente considerando que a PNPDEC marca, no Brasil, a transição do paradigma que previa o gerenciamento do desastre para o que enfatiza a redução do risco, buscando atender as orientações internacionais provenientes sobretudo do Marco de Hyogo, em 2005, e considerando a ocorrência de grandes desastres como o que ocorreu na Região Serrana do Rio de Janeiro, em 2011 (Viana e Johnsson, 2017).

Cabe salientar que a PNRH tem como um de seus objetivos, descritos no artigo 2.º, a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos. Já a PNPDEC, ainda mais enfática, aponta, no artigo 2.º, o dever da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios de adotar medidas necessárias à redução dos riscos de desastres, abrangendo ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil (artigo 3.º). Embora o SNUC não cite diretamente as inundações, o seu artigo 4.º dialoga com a temática, uma vez que apresenta como um de seus objetivos a proteção e recuperação dos recursos hídricos. Logo, o primeiro ponto com possibilidade de articulação entre essas políticas já se apresenta em seus respectivos objetivos.

Contudo, um ponto ainda mais específico para a articulação de políticas públicas encontra-se no artigo 3.º da PNPDEC, que prevê seu dever de integrar-se às políticas de ordenamento territorial (desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, ciência e tecnologia) e às demais políticas setoriais. A PNRH atua de forma similar quando, em suas diretrizes gerais de ações, destaca a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo (art. 3.º). Da mesma forma, em suas diretrizes, o SNUC destaca que seja assegurado que o processo de criação e a gestão das unidades de conservação sejam feitos de forma integrada com as políticas de administração das terras e águas circundantes (art. 5.º).

A participação da sociedade, que é indispensável quando se pensa na efetividade das políticas públicas, também está prevista em todas as políticas analisadas. Assim, a representação da comunidade (os maiores conhecedores de sua realidade vivida), em diferentes instâncias, colabora para conectar essas instâncias.

Conforme explicitado, nota-se que a PNPDEC é mais precisa na abordagem das questões que envolvem a gestão dos riscos e desastres. Isso fica evidente em seus objetivos, principalmente na esfera municipal, que pontuam: a redução do risco, o monitoramento de eventos potencialmente causadores de desastres, a produção de alertas antecipados, a prestação de socorro e assistência à população e a recuperação de áreas afetadas, a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades e o estímulo às cidades resilientes (art. 5.º). Portanto, espera-se dessa política um maior envolvimento com a gestão do risco de desastre, embora seja essencial sua articulação com a PNRH no que tange aos riscos de desastres hidrológicos.

Da dimensão institucional: apresentação dos órgãos setoriais

Comitê de Bacia Hidrográfica Piabanha

O CBH Piabanha foi criado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI) em 13 de novembro de 2003 e instituído o pelo Decreto Estadual n.º 38.235, de 14 de setembro de 2005, alterado posteriormente pelo Decreto

Estadual n.º 45.461/2015. Seu regimento interno³, aprovado no dia 12 de dezembro de 2005 (depois sofrendo três alterações, a última em 2020) determina que o CBH seja um órgão colegiado, com atribuições normativas, deliberativas e consultivas de nível regional, integrante do Sistema Estadual de Gerenciamento e Recursos Hídricos (SEGRHI), com sede em Petrópolis, e que tenha como objetivo principal promover a gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos da Região Hidrográfica IV⁴ do estado do Rio de Janeiro (CBH-Piabanha, 2020c). De acordo com o regimento interno de 2020, o CBH Piabanha é constituído por Plenário, Diretório Colegiado, Presidência, Secretaria Executiva, Câmaras Técnicas e Grupos de Trabalho.

O Plenário é o órgão máximo deliberativo e possui trinta e seis (36) membros titulares paritários, sendo doze (12) representantes dos usuários da água, doze (12) da sociedade civil e doze (12) do poder público (federal, estadual e municipal), além dos suplentes. O secretário de meio ambiente do município de Petrópolis integra o Plenário, porém, pensando na gestão do risco de desastre hidrológico, seria importante que a SEMPDEC também tivesse representante, como já acontece com o PARNASO.

Já o Diretório Colegiado é composto por seis (06) membros eleitos entre seus pares, sendo dois (02) representantes dos usuários, dois (02) do poder público e dois (02) da sociedade civil, com a função de colaborar com as atividades do presidente e do secretário executivo, representando o comitê quando necessário. Ademais, cabe ao presidente, entre outras coisas, representar o comitê, fazendo cumprir o regimento interno, dirigir os trabalhos, assinar os atos administrativos, apresentar relatórios de atividades e autorizar despesas. Quanto ao secretário-executivo, cabe, sobretudo, prestar assessoramento técnico, jurídico e administrativo ao comitê. Acrescenta-se que compõem o CBH Piabanha ainda três Câmaras Técnicas, responsáveis pelo assessoramento do Plenário e do Diretório Colegiado. Do mesmo modo, a prefeitura de Petrópolis compõe a Câmara Técnica de Saneamento Básico, também através da

³ Documento que consolida o conjunto de regras estabelecidas para regulamentar o funcionamento do comitê, visando o cumprimento de seus objetivos.

⁴ Essa região possui uma área de 4.484 km² e compreende, na integralidade, os municípios de Teresópolis, Areal, São José do Vale do Rio Preto, Sapucaia e Sumidouro, e parcialmente os municípios de Petrópolis, Paty do Alferes, Paraíba do Sul, Três Rios e Carmo (CBH- PIABANHA, 2019).

Secretaria de Meio Ambiente. Diante disso, nota-se que seria importante criar uma câmara técnica voltada para a gestão do risco de inundação, da qual a SEMPDEC e o PARNASO pudessem fazer parte, constituindo um espaço em que essas instâncias pudessem se reunir e discutir os problemas relacionados à inundação.

Além disso, o CBH Piabanha possui representação em outros órgãos, como no Conselho Estadual de Recursos Hídricos, no Fórum Fluminense dos Comitês de Bacias Hidrográficas, no Conselho Municipal de Meio Ambiente de Petrópolis – COMDEMA, no Conselho da APA Petrópolis e, ainda, no Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), participando de dois grupos de trabalho desse comitê (CBH-Piabanha, 2020c). Entretanto, seria de igual importância, para fortalecer as representações mútuas, que o CBH Piabanha tivesse representante no Conselho Gestor do PARNASO.

Parque Nacional Serra do Órgãos

Criado pelo Decreto 1.822, de 30 de novembro de 1939, o Parque Nacional da Serra dos Órgãos - PARNASO é o terceiro parque mais antigo do Brasil e abrange os municípios de Teresópolis, Petrópolis, Guapimirim e Magé, com sede principal em Teresópolis. Subordinada ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), essa unidade de conservação de proteção integral, com plano de manejo aprovado, tem sua equipe formada por um chefe, um chefe substituto e mais 5 coordenações⁵. A Coordenação de Proteção Ambiental possui, entre seus setores, o de “Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais”, assim sendo, seria interessante estudar a possibilidade de incorporação de um setor que tratasse da prevenção das inundações nas zonas de amortecimento do parque.

Com efeito, o PARNASO possui um Conselho Consultivo (CONPARNASO) que tem por finalidade contribuir para a efetiva implantação e cumprimento dos seus objetivos. A estrutura organizacional do CONPARNASO compreende: assembleia

⁵ Coordenações: de Conservação e Manejo da Biodiversidade; de Uso Público; de Educação Ambiental; de Proteção; e de Administração e finanças.

geral (membros titulares que possuem direito a voz e voto), presidência (chefe do PARNASO), vice-presidência (conselheiro eleito), secretaria executiva e câmaras técnicas. Ela respeita a paridade entre órgãos governamentais e sociedade civil, sendo sua composição formada por nove representantes de organizações da sociedade civil, nove de órgãos governamentais e sete de usuários de recursos ambientais e prestadores de serviço (ICMBIO, 2019). Vale acrescentar que a prefeitura de Petrópolis também compõe esse conselho através da Secretaria de Meio Ambiente.

Por oportuno, é importante destacar que, em 13 de maio de 2020, foi criado, com a Portaria n.º 426, o Núcleo de Gestão Integrada (NGI) de Teresópolis, que englobou em sua chefia o PARNASO, a Reserva Biológica (REBIO Tinguá), a Estação Ecológica (ESEC Guanabara) e as Áreas de Proteção Ambiental (APA Petrópolis e APA Guapimirim) e estabeleceu sede administrativa localizada no PARNASO. Consta, ainda, que a criação do NGI tem sido alvo de críticas, visto que seu principal objetivo (otimização dos recursos e o compartilhamento de estruturas físicas e equipamentos e integração entre as equipes) pode levar à precarização da atuação de diferentes unidades de conservação da região. Entretanto, em contrapartida, pode abrir caminhos para a integração de ações e resolução de problemas, principalmente no município de Petrópolis, que tem 68,32% de seu território abrangido pela APA Petrópolis.

Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil – Petrópolis

A SEMPDEC de Petrópolis foi criada através da Lei n.º 7.056, de 15 de abril de 2013, que extinguiu também a velha estrutura da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil estabelecida na década de 70. Os objetivos da Secretaria, discriminados na referida lei, abrangem todo o ciclo do desastre, com ações que vão desde o monitoramento dos eventos, identificação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades aos desastres, mapeamento de áreas de riscos, até questões que envolvem socorro e reabilitação. Além disso, possui um total de 57 funcionários, 30 cedidos de outras secretarias e 27 cargos comissionados, e apresenta a seguinte estrutura: Gabinete do Secretário, 4 Diretorias (2 técnicas, uma operacional

e uma de projetos), Assessorias jurídica e de comunicação e o Comitê de Ações Emergenciais. A Diretoria de Projetos, por sua vez, possui um Departamento de Prevenção e Preparação com setores que tratam de assuntos que envolvem alerta e alarme, prevenção e capacitação e integração comunitária.

Quanto aos documentos de gestão de risco de desastres, o município de Petrópolis dispõe do Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR), que contemplou antes o primeiro distrito, mas atualmente inclui todos os distritos. Entretanto, foi analisado somente o PMRR para o 1.º distrito de Petrópolis, pois o *site* da Coordenadoria de Planejamento e Gestão Estratégica disponibiliza apenas o documento referente a ele e não tivemos êxito junto à prefeitura na aquisição do documento completo.

A SEMPDEC conta, ainda, com um Plano de Contingência (PLANCON) para deslizamentos e inundações, de dezembro de 2013, e outro para incêndios florestais, de julho de 2015. Em 27 de novembro de 2020, o município lançou o Plano Verão 2021, atualizando o PLANCON de 2013 e abrangendo outros fenômenos (quedas, tombamentos e rolamentos de blocos, tempestades e raios e vendaval), de modo a incluir as matrizes de atividades e responsabilidades para cada evento. Com efeito, a matriz de responsabilidades objetiva melhor executar ações de socorro, assistência e reabilitação no contexto dos desastres através da integração dos diferentes órgãos e setores para determinada atividade.

Da dimensão material: análise dos planos aprovados

Plano de Bacia Hidrográfica do Comitê do Piabanha

O Plano de Bacia Hidrográfica (PBH) é um dos instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos (PERHI), instituído pela Lei Estadual n.º 3.239, de 02 de agosto de 1999. Até 2021, o Comitê do Piabanha não tinha seu próprio PBH, entretanto, a Resolução Comitê Piabanha n.º 09, de 22 de setembro de 2009, aprovou o Caderno de Ações - 04 para sua área de atuação no PBH do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP). Vale destacar que esse documento norteia a aplicação de recursos provenientes da cobrança pelo uso da água, devendo ser

utilizado até que o PBH Piabanha, recentemente aprovado, passe a ser implementado. Ele apresenta a área de atuação do Comitê do Piabanha e suas características gerais, sua organização institucional, bem como as ações para melhoria quali-quantitativa dos recursos hídricos e, por fim, os resultados com visões e prioridades da região. Dentre os recortes temáticos dos programas de ações para melhoria quali-quantitativa dos recursos hídricos, destacamos o de drenagem urbana e controle de cheias.

Considerando que a soma dos investimentos de todos os programas foi orçada em cerca de R\$ 570 milhões (para um horizonte de 13 anos), os programas que se destacaram quanto ao montante alocado foram: coleta e tratamento de esgoto (R\$ 290.500.000,00) e melhoria no abastecimento de água (R\$ 105.000.000,00). Assim, os altos investimentos do CBH na coleta e tratamento de esgoto (qualidade da água), proporcionais à urgência do problema, objetivam cumprir a Lei Estadual n.º 5.234, de 5 de maio de 2008⁶. Cabe ressaltar que a melhoria no saneamento básico diminui os problemas relacionados a doenças de veiculação hídrica na ocorrência de inundações.

Em vista disso, a Resolução n.º 18 do CBH Piabanha aprovou, em 2012, o Plano de Ações e Aplicação de Recursos Financeiros do Piabanha, constante na subconta do Comitê Piabanha no Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FUNDRHI). Nesse plano, foram definidos 6 programas e seus respectivos objetivos orçados em R\$5.500.000,00. De certo que o programa de Controle de Cheias, orçado em R\$200.000, teve como objetivo reunir informações de diferentes instituições sobre drenagem e controle de cheias na RH-IV, estimulando programas de alertas e prevenção de acidentes ligados a eventos naturais críticos. Em 2014, a Resolução CBH Piabanha n.º 20 alterou esse programa, incluindo a prevenção a queimadas e incêndios florestais, sem alterar o valor do investimento outrora estipulado.

Não obstante, em novembro de 2015, a Resolução Piabanha n.º 33 aprovou o Plano de Aplicação Plurianual (PAP) de recursos financeiros do CBH Piabanha para o período de 2016 a 2020, contendo cinco programas avaliados

⁶ O artigo 6.º da referida lei define no mínimo 70% (setenta por cento) dos recursos arrecadados pela cobrança pelo uso da água incidente sobre o setor de saneamento serão obrigatoriamente aplicados em coleta e tratamento de efluentes urbanos, respeitadas as destinações estabelecidas no artigo 4.º desta Lei, até que se atinja o percentual de 80% (oitenta por cento) do esgoto coletado e tratado na respectiva Região Hidrográfica.

em R\$9.459.887,90. Embora alguns programas dialogassem de alguma maneira com a questão das inundações, o PAP não previa nenhuma ação que contemplasse diretamente a gestão do risco de inundação. Recentemente, foi atualizado para o período de 2021 a 2025 pela Resolução do CBH Piabanha n.º 61, de outubro de 2020a, e deve sofrer modificações com vistas à aprovação do PBH do Piabanha. Porém, a gestão do risco de inundação não compõe os programas do PAP em vigor.

Por fim, em março de 2021, foi aprovado o PBH da Região Hidrográfica IV (RH-IV), ou o PBH Piabanha. Trata-se de um documento extenso, com 498 páginas, que, dentre outros tópicos, apresenta o diagnóstico geral da região hidrográfica do Piabanha e seu prognóstico (horizonte de 15 anos). Eles serviram de base para identificar situações críticas, norteando a proposição de ações de intervenção (com Programas de Ações e investimentos para um horizonte de 15 anos), com objetivo de recuperação, proteção e conservação dos recursos hídricos, bem como ações voltadas para os eventos críticos. Observou-se que o balanço hídrico quantitativo e qualitativo apresentou piora quando comparados os anos de 2018 e 2033, resultando tanto no aumento de áreas com demanda maior de 75 % da disponibilidade, quanto da alteração de classes de alguns trechos de rios por conta do aumento das cargas poluidoras. Fica evidente, então, a preocupação no PBH Piabanha em torno de questões quali-quantitativa da água, no entanto, esperávamos encontrar também projeções de cenários de risco de inundação e de vulnerabilidade socioambiental às inundações para os municípios que compõem essa bacia e enfrentam a problemática todos os anos.

Não é demais salientar que o Programa de Ações proposto está dividido em 6 (seis) agendas, 15 (quinze) subagendas, 24 (vinte e quatro) programas e 40 (quarenta) ações⁷. A agenda Gestão de Riscos pode ser destacada, mais especificamente, sua subagenda Eventos Críticos, que contém o programa Plano de Gerenciamento de Riscos. Ao que se percebe, as ações desse programa estão em consonância com o

⁷ Para a implementação dessas ações, estão previstos R\$ 38,1 milhões do CBH Piabanha (sendo quase metade desse valor para a Agenda Saneamento), R\$ 18,1 milhões de outros entes do SGRH (ANA, INEA, SEAS ou CEIVAP) e R\$ 633,9 milhões do setor de saneamento.

Plano Integrado de Recurso Hídricos do Rio Paraíba do Sul (PIRH-PS)⁸, e, com base nas informações desse plano, serão elaborados relatórios de gerenciamento de risco para a BH Piabanha, além da elaboração e execução de projetos de intervenção e mitigação de desastres. Na fase de execução, estão previstas reuniões do CBH Piabanha com a defesa civil, prefeitura e governos, o que mostra uma tentativa de aproximação dessas instâncias. Entretanto, é interessante que essa aproximação ocorra durante todo o processo de planejamento, elaboração e execução. É preciso considerar outra agenda relevante: a de Saneamento básico, que conta com a subagenda Drenagem Urbana para viabilizar relatório sobre drenagem urbana para divulgação aos órgãos pertinentes, ação também realizada em consonância com o PIRH-PS. Ainda que as agendas supracitadas apresentem avanços quando comparadas aos programas do Caderno de 2009, principalmente na incorporação da temática de gerenciamento de risco de desastre (embora não especifiquem o evento crítico), as ações estão atreladas ao PIRH-PS e dependentes dele. Além disso, o investimento dos recursos ainda é tímido se comparado a demandas também importantes que não deveriam ser grandes problemas no Brasil no século XXI, como o saneamento básico.

Plano de Manejo do Parque Nacional Serra do Órgãos

O primeiro Plano de Manejo do PARNASO foi publicado em 1980. O atual, concluído em 2008, é uma revisão do anterior e se apresenta estruturado em quatro encartes: (1) Contextualização da UC; (2) Análise regional; (3) Análise da UC; e (4) Planejamento. O encarte Planejamento traz, dentre outras questões, os objetivos específicos do manejo, o zoneamento⁹, o planejamento por área de atuação, o enquadramento de ações por área estratégica e o cronograma físico e estimativa de custos.

⁸ Nesse plano está previsto a elaboração do Plano de Gerenciamento de Riscos da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

⁹ Estabelecimento de usos conforme as fragilidades e potencialidades.

Os objetivos do manejo que dialogam, direta ou indiretamente, com as inundações são: proteger os recursos hídricos, especialmente as nascentes e mananciais das bacias hidrográficas que nascem no Parque (Soberbo, Caxambu, Beija-Flor, Paquequer e Roncador); promover a integração com as comunidades do entorno, visando sua proteção e a minimização dos impactos ambientais; promover a educação ambiental; e, por fim, incentivar e dar suporte a pesquisas específicas e interdisciplinares que gerem conhecimento sobre a região e auxiliem na formulação de estratégias de conservação.

Diante desse contexto, o zoneamento do PARNASO prevê as seguintes zonas: Intangível, Primitiva, Uso Extensivo, Uso Intensivo, Histórica Cultural, Uso Conflitante, Ocupação Temporária de Recuperação e Uso Especial. As duas primeiras são as mais restritivas, englobam a maior parte do parque e apresentam objetivos relacionados à proteção dos recursos hídricos. Por exemplo, na Zona Intangível, está prevista a proteção das nascentes existentes no Parque e, na Zona Primitiva, que funciona como zona-tampão, está prevista a proteção dos recursos hídricos, mais especificamente as nascentes de importantes rios, como o Jacó e o Bonfim, que drenam para fora do Parque.

Quanto ao planejamento por área de atuação, são apresentados 7 programas temáticos com suas principais atividades. Destacamos aqui as atividades do Programa de Proteção (que prevê o controle¹⁰ do crescimento urbano e da ocupação desordenada no entorno); do Programa de Educação Ambiental (que objetiva promover processos educativos que discutam os conflitos, problemas e potencialidades ambientais¹¹); e do Programa de Integração Externa (que objetiva a articulação com parceiros, tendo como ação a colaboração interinstitucional com prefeituras, secretarias municipais e outras unidades de conservação visando fortalecer a atuação na região).

No contexto do Enquadramento das Ações por Áreas Estratégicas (que objetiva reverter fraquezas e/ou otimizar forças), as áreas aparecem divididas em seis

¹⁰ Inclui operação de fiscalização de rotina, atendimento de denúncias e vistorias técnicas para emissão de autorizações de construção.

¹¹ Destaca-se o Projeto Boa Vizinhança cujas ações são voltadas para integração e mediação de conflitos com as comunidades do entorno.

AEI - Áreas Estratégicas Internas (maior visitação) e oito AEE - Áreas Estratégicas Externas (de maior pressão sobre o parque).

Por fim, o plano ainda traz a Avaliação Estratégica da Unidade de Conservação, que, através de matriz feita em 2004, revela os principais problemas enfrentados pelo parque e os pontos fortes do PARNASO no cenário interno e externo. Destacam-se como maiores problemas: as dificuldades no controle de acessos, a situação fundiária complexa e a estrutura insuficiente para atendimento aos visitantes, assim como a insuficiência de pessoal e recursos, que tem se agravado nos últimos anos em função da baixa renovação da equipe e acentuada queda no quadro de servidores. No cenário externo, a principal ameaça que dialoga com este estudo é o acelerado crescimento urbano das cidades do entorno.

De tal modo, a estimativa de custo para implementação desse plano foi de R\$13.015.000,00 num horizonte de 5 anos, incluindo custeios e investimentos. O plano não distribuiu esse valor de acordo com os programas, mas sim considerando as contratações de serviços e aquisições de equipamentos e materiais necessários para a implementação do plano. No *website* do ICMBio/PARNASO¹², consta um sexto encarte que trata do monitoramento da implementação do plano, porém, a página apresenta erro na tentativa de aceder ao link. Embora esteja prevista, no encarte Resumo Executivo, a revisão do plano de manejo após 5 anos do início da implementação de suas ações, com o objetivo de atualizar informações do diagnóstico e normas, além de complementar atividades estipuladas, essa revisão ainda não foi realizada.

Plano Municipal de Redução de Riscos e Plano de Contingência inundações) de Petrópolis

O Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR)¹³, apresentado em 2017, contempla todos os distritos de Petrópolis e aponta 234 áreas consideradas de

¹² <https://www.icmbio.gov.br/parnaserradosorgaos/o-que-fazemos/gestao-e-manejo.html#planomanejom>

¹³ Esse plano foi coordenado e fiscalizado pela Secretaria de Obras do município e elaborado pela empresa Theopratique Arquitetura e Engenharia.

risco alto ou muito alto para deslizamentos e inundações (18 % do território do município), sendo 102 áreas no primeiro distrito (Petrópolis), 39 no segundo (Cascatinha), 35 no terceiro (Itaipava), 32 no quarto (Pedro do Rio), e 26 no quinto (Posse), com a necessidade de reassentamento de 7.177 famílias (Petrópolis, 2017). Considerando que tivemos acesso apenas ao PMRR do primeiro distrito, a análise ficou restrita a esse documento.

O PMRR tem como objetivo final a indicação de áreas de risco prioritárias para intervenção, apresentando, dentre outras coisas, a hierarquia e os custos das intervenções. Acrescente-se, ainda, que, nas 17 regiões definidas no primeiro distrito, foram mapeadas 102 áreas com assentamentos precários, sujeitas a intervenções estruturais¹⁴ e não estruturais. As áreas mapeadas foram categorizadas de acordo com os problemas enfrentados e, das sete (7) categorias de intervenção estipuladas para o primeiro distrito, destacamos as categorias V, VI e VII (TABELA I), que dialogam minimamente com as inundações. A maior parte das categorias está relacionada com áreas sujeitas às intervenções que têm a ocupação de encostas como problemática central, além de áreas com péssimas condições de infraestrutura das habitações e áreas com o avanço das ocupações em áreas protegidas.

Como observado acima, embora as categorias V e VII tenham relação com as inundações, a categoria VI é a mais específica, segundo as características físicas apontadas no PMRR (áreas de planícies, fundo de vales, nível de água bastante alterado em períodos de alta densidade pluviométrica). Contudo, não foram previstas ações de intervenção; contraditoriamente, a classificação a define como uma categoria de intervenção, mas não são estipuladas ações para tal e, consequentemente, não são destinados recursos. A justificativa é a necessidade de estudos específicos, como mostra o (TABELA I). Deste modo, entendemos que esse plano prioriza os problemas causados pelos deslizamentos, sendo necessária a inclusão urgente das ações de intervenção frente às inundações para atender aos problemas associados historicamente a esse fenômeno no município.

¹⁴ Tipologias de intervenção estruturais: melhorias habitacionais; saneamento básico; infraestrutura drenagem; infraestrutura contenção; infraestrutura linhas de drenagem; barreira dinâmica contra queda de rochas; barreira dinâmica contra fluxo de detritos; urbanização; recuperação de áreas degradadas.

Nota-se que, na (TABELA II), abaixo, destacamos 24 áreas em 10 regiões que têm problemas relacionados à inundação, com sua descrição e os valores previstos para a intervenção, considerando as categorias V e VII.

Salienta-se que, das 122 áreas mapeadas, 7 delas, pertencentes às categorias V e VII, estão entre as 25 áreas com maior prioridade de intervenção de acordo com o critério de hierarquização do PMRR. Na ordem de prioridade, Vai Quem Quer (5.º lugar, com 307 moradias em risco), Alto Bataillard (9.º lugar, 255 moradias em risco), Caxambu Alto (15.º lugar, 179 moradias em risco), Henrique Paixão (18.º lugar, 160 moradias em risco), Vila Felipe (21.º lugar, 149 moradias em risco), Serra da Estrela (22.º lugar, 142 moradias em risco) e Açude (24.º lugar, 139 moradias em risco). Quanto aos valores propostos nas intervenções (categorias V e VII), Açude apresenta o maior valor, seguido por Serra da Estrela, conforme a (TABELA II). Selecionamos no PMRR três fotografias que representam áreas da categoria V (fot. 3) no primeiro distrito de Petrópolis, sendo que a primeira apresenta ocupações próximas ao curso d'água, a segunda, moradia construída em talvegue, e a terceira, moradias construídas no caminho das águas.



Fot. 3 - Áreas de risco de inundações no primeiro distrito de Petrópolis (Fotografia do PMRR, tirada em 2017).

Fot. 3 - Areas at risk of flooding in the first district of Petrópolis (Photograph of PMRR, taken in 2017).

URL: <https://sig.petrópolis.rj.gov.br/cpge/PMRR%20-%202%C2%BADISTRITO-PETR%C3%93POLIS.pdf>

TABELA I - Categorias de intervenção do PMRR relacionadas com as inundações, seus problemas e ações propostas.

TABLE I - PMRR intervention categories related to floods, their problems and proposed actions.

Categorias	Problemas	Ações estruturais	Ações não estruturais
V	Inundação ou desmoronamentos causados por enxurradas ou movimentos em massa ocorridos à montante; Solapamento das cabeceiras de drenagem; e materiais estocados nestas áreas sendo conduzidos para as redes pluviais, causando obstrução ou então resultando no assoreamento dos rios e córregos	Remoção e/ou remanejamento de moradias em linhas de drenagem; Desobstrução e limpeza de linhas de drenagem natural e/ou galerias existentes; Canalização e tratamento de esgotos sanitários; Renaturalização através de reflorestamento; Implantação de dispositivos de proteção contra obstrução e assoreamento dos corpos hídricos.	Demarcação de faixas de proteção das linhas de drenagem perenes ou intermitentes; Conscientização da população quanto ao risco de moradias localizadas em linhas de drenagem e talvegues;
VI	Enchentes e inundações; Dificuldade de escoamento e infiltração das águas servidas causados por assoreamento; Erosão e solapamento das margens dos rios e córrego; Danificação de pavimentos viários; e Ruptura em redes de água.	Esta categoria demanda estudos hidrológicos e hidráulicos visando o desenvolvimento de projetos de macro e meso drenagem para possibilitar, assim, uma maior acurácia na quantificação de recursos.	*****
VII	Desmatamento; Poluição dos cursos d'água; Assoreamento dos cursos d'água; Escorregamentos induzidos por alterações na geometria e drenagem natural da encosta, Lançamento e acúmulo de lixo e entulho na encosta; Crescimento desordenado da ocupação em áreas protegidas por lei.	Remoção de moradias; Reflorestamento de áreas degradadas; e Implantação de eco-limites;	Delimitação das faixas “non aedificandes” (ecolimites); Delimitação e constatação das áreas protegidas por lei; Orientação da população da necessidade de proteção da área, com a proibição de novas construções.

Fonte/Source: PMRR, 2017.

TABELA II – Descrição das problemáticas que afetam as áreas prioritárias para intervenção e se relacionam com as inundações.

TABLE II - *Description of the problems affecting priority areas for intervention related to flooding.*

Regiões	Área	Descrição da área	Valor (R\$)
Alto da Serra	Açude	Ocupação esparsa, constituída de moradias precárias em processo de expansão. Crescimento ao longo do antigo caminho do Imperador e ao longo do córrego existente.	6.122.773,79 11.403.498,00
	Caminho Roberto F.	Ocupação esparsa, localizada em uma microbacia de drenagem a meia encosta, cortada por um córrego perene. Caracterizada por encostas muito íngremes.	1.629.212,45 503.149,00
	Chácara Flora	Ocupação consolidada, implantada à meia encosta, na vertente para a Serra Velha. Encostas íngremes com implantação de moradias próximas ao córrego existente à jusante.	2.084.476,07 0,0
	Lagoinha	Ocupações à meia encosta, na vertente para a Serra da Estrela. Moradias localizadas em talvegues e próximas a córregos existentes.	1.165.303,33 304.572,00
	Sargento Boening	Construções implantadas em uma microbacia de drenagem. Expansão com moradias muito precárias à meia encosta, sem infraestrutura.	2.228.093,10 1.202.274,00
	Serra da Estrela	Crescimento desordenado, com desmatamentos irregulares, ocupados por construções informais em locais desprovidos de infraestrutura.	4.381.482,79 6.261.202,00
	Vila Felipe	Ocupações consolidadas, localizadas no sopé de encostas rochosas íngremes. Construções localizadas em microbacias de drenagem.	3.896.873,85 2.388.381,00
	Vila União	Ocupações delimitadas por dois córregos, com tendência à expansão para o fundo do vale. Moradias precárias e infraestrutura deficiente devido à localização.	1.122.207,33 2.029.103,00
	Comunidade Vitória	Ocupações precárias, implantadas à meia encosta. Localizada à montante do Morro do Veludo, cujo acesso se dá por escadarias. Em processo de crescimento (margens de córregos).	1.170.330,17 0,0
	Contorno I	Ocupações precárias, construídas informalmente nas margens da estrada. Implantadas em talvegues e encostas com declividade acentuada.	2.413.249,12 1.448.825,00
Bingen (continuação)	Contorno II	Ocupações informais em locais sem infraestrutura. Acessos precários e construções em caminhos de águas. Desmatamentos irregulares em áreas protegidas por lei.	1.890.974,95 1.491.410,00
	Dias De Oliveira	Ocupação consolidada, constituída de alguma infraestrutura. Moradias localizadas em talvegues, com tendência à expansão para locais sem urbanização.	1.849.797,03 1.350.106,00
	Morro Do Veludo	Moradias muito precárias, com crescimento desordenado em fundo de vale, com as construções próximas ao córrego. Acessos por escadarias até o topo do morro, (encontra a Comunidade Vitor) a.	719.268,05 2.669.238,00

Regiões	Área	Descrição da área	Valor (R\$)
Caxambu	Caxambu Alto	Servidões em escadaria, com deficiência de infraestrutura. Moradias construídas em talvegues e fundos de vale. Expansão para áreas com limitações para a ocupação.	5.520.382,03 1.200.948,00
Centro	14 Bis	Ocupações localizadas à meia encosta, com moradias construídas em talvegues. Construções se expandindo para o sopé de encostas rochosas em locais sem urbanização.	813.147,32 1.288.345,00
Floresta	Henrique Paixão	Expansão da ocupação para áreas sem urbanização, em talvegues e topos de morro.	2.906.476,46 4.243.302,00
Independência	Presidente Sodré	Caracteriza-se, principalmente, pela implantação de moradias no sopé de encostas rochosas e em talvegues.	0,0 641.971,00
	Vila do Príncipe	Ocupação implantada em uma microbacia de drenagem, com encostas íngremes em ambos os lados. Moradias esparsas, porém, muito precárias e construídas em locais sem acesso urbanizado.	3.219.727,28 0,0
Mosela	Alto Bataillard	Caracteriza-se, sobretudo, pela precariedade das moradias implantadas no sopé de encosta rochosa e em talvegues na encosta.	500.657,86 1.944.069,00
Quarteirão Brasileiro	Unidos Venceremos	Comunidade formada em uma microbacia de drenagem, contendo um córrego capeado na área ocupada. A ocupação limita-se com a Rua Atílio Marotti.	0,0 1.177.862,00
Quitandinha	Cuba	Pequena área com moradias localizadas próximas ao córrego, em local desprovido de urbanização e infraestrutura.	958.512,99 0,0
	Minas Gerais	Ocupações construídas à meia encosta, sob encostas íngremes. Moradias precárias agrupadas em locais sem infraestrutura. Construções em talvegues.	1.286.133,17 2.174.351,00
	Rio De Janeiro /São Paulo	Caracterizam-se, especialmente, pela precariedade da implantação das construções. Moradia construída informalmente em talvegues.	2.177.187,77 0,0
	São Joaquim	Comunidade implantada em uma microbacia de drenagem, formada por um talvegue com vertente para a BR-040. Construções precárias, com acesso por escadarias e vielas transversais à rua principal.	927.209,53 3.242.308,00
São Sebastião	Vai Quem Quer	Ocupação densa. Acessos por vielas e escadarias situadas à meia encosta, com residências em ambos os lados, construídas de forma precária. Moradias construídas em talvegues.	2.358.204,05 3.344.257,00

Fonte: PMRR, 2017.

Consta, ainda, no PMRR, a criação de um Grupo de Trabalho de gerenciamento de risco, subordinado à Coordenação do Gerenciamento de Risco, como um segmento integrador das ações em questão (que envolve diversas secretarias municipais). O documento enfatiza, porém, que a atuação do grupo será voltada aos riscos de movimentos em massa. Ou seja, ainda que o PMRR evidencie que o plano tratará das inundações, percebemos que o seu foco são os deslizamentos. Cabe salientar que não encontramos relatórios de gestão com descrição do acompanhamento das obras propostas para avaliar o que já foi executado.

Nesse aspecto, além do PMRR, o município dispõe do Plano de Contingência (PLANCON)¹⁵ e, através dele, podemos compreender um pouco melhor as articulações dos órgãos e setores nas ações frente às inundações, principalmente ao analisar a matriz de atividades e responsabilidades presente no documento. Na introdução, destaca-se que a Secretaria Municipal de Proteção e Defesa Civil atua de forma articulada com as demais secretarias do município, além dos diversos órgãos do Estado e do Governo Federal, o que é denominado no plano de “abordagem sistêmica”.

É importante salientar que são apresentadas como zonas de risco de inundação o Centro, Quitandinha, Bingen, Corrêas, Nogueira, Itaipava, Pedro do Rio e Posse. Neste tópico, são apresentados os principais rios (Quitandinha, Palatinato, Santo Antônio, Bonfim e Piabanha), suas características e alterações sofridas que colaboram para o transbordamento em diferentes pontos do município. Esses rios são monitorados pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) através das suas estações hidrológicas localizadas nos bairros Alto da Serra, Bingen, Coronel Veiga, Centro, Corrêas e Itaipava, além dos diversos pontos pluviométricos distribuídos nos demais bairros do município. O monitoramento meteorológico tem serviço de previsão do tempo realizado com base no Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e no INEA, que também emite avisos meteorológicos em caso de precipitação acima do tolerável.

¹⁵ Elaborado pela SEMPDEC em 2013 abrangendo deslizamentos e inundações. Em 2017 foi atualizado, separando os eventos, resultando em um PLACON para as inundações (Plano Verão 2018). Novamente atualizado em 27 de novembro de 2020 (Plano verão 2021), desta vez, o processo que se deu on line em respeito as regras sanitárias básicas de prevenção ao contágio do novo corona vírus (COVID -19).

No mais, as operações¹⁶ previstas no PLACON 2013 compreendem os processos de ativação¹⁷ do plano que levam em consideração o nível crítico de chuva e os dados de transbordamento dos rios, bem como o de desmobilização, quando são constatadas as condições e pressupostos que descaracterizem os cenários de risco previstos. Assim, o plano destaca que são responsáveis por alertar a população: os Núcleos Comunitários de Defesa Civil (Nudecs), as Unidades de Proteção Comunitárias (UPCs), a rede de Radioamadores, os agentes comunitários de saúde e de endemia e as redes de comunicação de massa existentes no município pela Coordenadoria de Comunicação Social.

A matriz de atividades e responsabilidades do PLACON 2013 está dividida em 3 grandes áreas (Socorro, Assistência e Reabilitação), com seus respectivos subgrupos. Cada subgrupo apresenta uma série de atividades, que podem ser responsabilidade de determinado setor (órgão/instância/secretaria, etc.). A depender do grau de importância dos setores em determinada atividade, eles podem ser considerados como Responsável Principal (RP), Responsável (R) ou apoio (A).

Destacamos, contudo, que no PLACON 2013, além das diversas secretarias municipais, incluindo a SEMPDEC, o CBH Piabanha também consta nessa matriz que, embora não cite o PARNASO, recebe apoio da Área de Proteção Ambiental - APA Petrópolis, que hoje integra o NGI Teresópolis. A SEMPDEC se apresenta como a RP em várias atividades na grande área de socorro, tendo a APA Petrópolis como A, principalmente nas ações de mobilização e resgate. Na grande área de assistência, a SEMPDEC passa a ser R de algumas ações, tendo agora o CBH Piabanha como A nas ações de ajuda humanitária, apoiando também na elaboração e execução de projetos de reabilitação e de recuperação das áreas atingidas da grande área de reabilitação.

No mais, o PLACON 2021 apresenta poucas alterações se comparado ao de 2013, dentre elas, o esforço em deixar a matriz mais enxuta com a redução de 31 atividades, assim como a incorporação do subgrupo COVID 19, devido ao cenário de pandemia, que traz em suas atividades a preocupação em testar os desabrigados, fazer triagem dos

¹⁶ Estão divididas em 3 fases (pré-desastre, desastre e reabilitação de cenários) que se desenvolvem em 23 ações.

¹⁷ O plano pode ser ativado sempre que necessário pelo: prefeito, chefe de gabinete, vice-prefeito, secretário de governo e do secretário de proteção e defesa civil.

sintomáticos e assintomáticos e prover a distribuição de insumos, como álcool em gel e máscara aos desabrigados. A mudança mais significativa, para este estudo, refere-se à saída do CBH da matriz de atividades e responsabilidades. Acreditamos que esse comitê tem muito a colaborar, sobretudo nas ações pré-desastres, devendo aprofundar sua atuação junto à SEMPDEC. O mesmo ocorreu em relação à APA Petrópolis, que também não se encontra mais presente na matriz, enquanto outras unidades de conservação passaram a integrá-la em algumas ações, como a Reserva Biológica Araras e o Refúgio de Vida Silvestre Estadual da Serra da Estrela.

A interface de políticas públicas no discurso institucional – e as inundações?

Na tentativa de ampliar as análises e articular uma pesquisa documental (políticas e planos) e outros discursos institucionais, realizamos entrevistas com os gestores do CBH Piabanha, do PARNASO e da SEMPDEC para compreender melhor como os planos se materializam na prática e de que forma essas instâncias, que atuam sobre o mesmo território, se articulam frente à gestão do risco de inundações.

Segundo a gestora do CBH Piabanha, sobre política pública, a “ [...] *política pública tem um retrato momentâneo, né [...]?* ” (CBH-Piabanha, 2020b). Assim, para a entrevistada, a política pública revela um dado momento político, com suas intenções, interesses e prioridades. E, embora sejam regidas por documentos oficiais (como as políticas e planos analisados), possuam protocolos dentro de uma instituição gerida por profissionais, com objetivos bem definidos, critérios a serem atendidos e responsabilidades a cumprir, um novo gestor pode ter uma prioridade diferente da gestão anterior. Afinal, existem muitos fatores que influenciam a criação, a execução e o acompanhamento de uma política pública, que é, então, conjuntural.

Diante de tal concepção, a gestora do CBH Piabanha aponta o momento em que a secretaria de defesa civil passou a ser menos atuante¹⁸, “[...] *a partir de 2016*

¹⁸ A gestora cita exemplos como a descontinuidade da Comissão das Chuvas (2011-2015) e do projeto Cidade Resilientes (pelo menos não se tem informações), e exalta o trabalho que já fora desenvolvido na SEMPDEC do município.

houve o desmonte de uma secretaria de proteção e defesa civil extremamente atuante [...]” (CBH-Piabanha, 2020b). Aqui, notamos a possibilidade de um afastamento entre as instâncias durante a gestão 2016-2020, o que poderia explicar, por exemplo, a saída do CBH Piabanha da matriz de responsabilidade do PLACON 2021.

Ao adentrar em questões mais direcionadas ao risco de inundação (prevenção), os três gestores convergem ao afirmar que pouco se tem feito em relação ao tema. O gestor do PARNASO foi enfático ao dizer que a gestão do risco de inundações não é da responsabilidade do parque, mas que indiretamente acaba contemplando-a “*[...] não é o foco da equipe do parque. A gente não vê como sendo uma responsabilidade nossa [...], indiretamente, a gente tem o papel de apoiar mediante políticas públicas, sendo o indutor de políticas públicas, ou até a participação nossa nesses comitês, né, para discutir o assunto, a participação nos fóruns das cidades [...]*” (PARNASO, 2020).

Nesse ponto, a gestora do CBH Piabanha se mostrou cansada e frustrada com suas tentativas de colaborar com o tema, e afirma que hoje “*[...] o Comitê não está fazendo absolutamente... Não vou dizer ‘nada’! Mas, é muito pouco na área de inundação. Então, quando a gente pensa em prevenção de inundação, não tem ideia o tamanho da frustração*” (CBH-Piabanha, 2020b). Entretanto, a entrevistada pondera que o comitê tem divulgado informações sobre desastres (provenientes de outros órgãos) e enfatizado a importância da preservação de área de várzea.

Já o gestor da SEMPDEC, embora tenha ressaltado que o mapeamento de risco de 2017 será atualizado¹⁹ em parceria com o Instituto de Terras do Estado do Rio de Janeiro (INTERJ) e lembrado da importância das sirenes e dos Núcleos de Defesa Civil (NUDEC), confirmou o que havíamos percebido na análise do PMRR, que a visão da SEMPDEC é mais voltada para os escorregamentos: “*[...] o monitoramento de chuva, a nossa visão sempre ele é de escorregamento. Tem pouquíssima visão de enxurrada, dificilmente a gente vê. A visão sempre é de escorregamento [...] eu sinto que falta realmente, simplesmente o acompanhamento e os planos municipais de defesa civil olharem a enxurrada com mais atenção*” (SEMPDEC, 2021). Com efeito, como bem destacam Kobiyama e Goerl (2011), a divergência entre cientistas quanto aos

¹⁹ O entrevistado estima que no novo mapeamento 50 mil pessoas estejam vivendo em situação de risco no município (anterior era de 28 mil).

termos associados à inundação (cheias, enchentes, enxurradas, alagamento) e a sua ambiguidade resultam na imprecisão em identificar o fenômeno em campo. Assim, a confusão entre os termos, presente no ambiente acadêmico, estende-se ao sistema perito, à mídia e, por fim, à população.

É importante ainda citar que o gestor da SEMPDEC teceu algumas críticas ao PMRR e ao PLACON de Petrópolis. Em relação ao primeiro plano, lembra o fato da coordenação ter sido prestada pela secretaria de obras e, por mais que as obras sejam necessárias, não são as únicas medidas necessárias nesse contexto. O gestor afirmou, ainda, não conhecer efetivamente as medidas e informações pertinentes à SEMPDEC presentes no PMRR (talvez pelo pouco tempo no cargo²⁰ ou pela falta de comunicação entre as secretarias). E, quanto ao PLACON, o gestor considera-o pouco exequível, com uma matriz de responsabilidades extensa e sem direcionamento para algumas ações.

Sobre as dificuldades em reduzir os riscos de desastres associados à inundação, a gestora do CBH Piabanha afirmou que inexistia uma política pública voltada para a gestão dos riscos de inundação. Por sua vez, o gestor do PARNASO apontou como problema o aumento da ocupação desordenada na Zona de Amortecimento que deveria ser fiscalizada pelo município, mas que permite a ocupação. Essa fala corrobora com Lázaro (2013) acerca da complacência do poder público municipal de Petrópolis ao validar as ocupações irregulares, apresentando dificuldades em combater a ocupação de áreas de risco e em realocar pessoas dessas áreas e das afetadas por desastres, o que aponta para a vulnerabilidade institucional frente aos desastres.

Para Veyret (2015), o risco é uma construção social e só existe na presença de uma população/indivíduo que o perceba ou sofra seus efeitos; entretanto, a percepção da população frente ao risco ao qual está exposta segue não operacionalizada pelos órgãos gestores, ocorrendo, geralmente, apenas a delimitação de intervenções, que desconsidera essa percepção (Marandola e Hogan, 2004). Por isso, em alguns casos, como aponta o gestor da SEMPDEC, as pessoas são até retiradas das habitações,

²⁰ O entrevistado tinha tomado posse recentemente, devido a mudança de gestão resultado das eleições municipais de 2020.

porém, como o poder público²¹ não providencia a demolição das casas, outras pessoas voltam a ocupá-las (ex. Vale do Cuiabá). O gestor ressalta a importância da integração de diversos órgãos para que o Estado seja eficiente e esse processo não seja interrompido na metade.

Outra dificuldade apontada pelo gestor da SEMPDEC fica evidente quando ele afirma que “[...] *eu não vejo, nem os políticos nem a população entendendo defesa civil como política pública*” (SEMPDEC, 2021). Para ele, a defesa civil ainda é percebida sob a ótica das emergências, focada nas ações de resposta e não na preparação. E os recursos financeiros do setor evidenciam isso, uma vez que o orçamento para o ano de 2021 (em prevenção) foi de apenas R\$40.000.000,00. O gestor exemplifica, ainda, que, se fosse comprar piezômetros (R\$3.500.000,00) para as 18 áreas de risco do município, já estouraria o orçamento do ano. Dessa forma, dentre os objetivos da análise e gestão do risco definidos por Almeida (2017), destacamos o que se refere ao entendimento dos políticos de que o dinheiro despendido na gestão do risco é investimento e não despesas²². Entretanto, essa lógica tem sido inversa no Brasil: segundo Silva *et al.* (2019), os recursos da União destinados à prevenção de desastres aplicados em projetos estruturais despencaram de R\$2,45 bilhões (média anual), entre 2012 e 2014, para R\$1,6 bilhões, em 2015, e reduziram ainda mais em 2017, chegando a R\$950 milhões.

Em razão dessa realidade, a gestora do CBH Piabanha também pontuou o fato do comitê possuir baixa arrecadação relacionada ao valor irrisório que se cobra pelo uso da água (0,05 centavos por m³), o que acaba por influenciar na falta de interesse dos usuários em participar efetivamente nas atividades do comitê, bem como justifica o número reduzido de funcionários que atuam na equipe.

Assim sendo, apresenta-se, na (fig. 2), a problemática em torno do risco de desastres em Petrópolis, principalmente dos relacionados às inundações, que ainda obedece a lógica que se repete Brasil afora: uma população “vulnerabilizada” é

²¹ O gestor revela que a SEMPDEC tem um projeto que prevê um “aval da defesa civil” para construção de edificações no município, visto que é um absurdo que a prefeitura permita construção e cobre IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) em uma área de risco.

²² A cada R\$1 investido na prevenção equivale, em média, ao uso de R\$ 25-30 gastos em obras de reconstrução pós-evento (Mendiando, 2006).

expulsa das áreas seguras e com o mínimo de infraestrutura urbana, sendo obrigada a ocupar áreas suscetíveis a diferentes fenômenos naturais, tornando-as ainda mais instáveis. Quando um fenômeno natural se apresenta, o resultado tem sido de grandes estragos (mortes, feridos, desabrigados, perda de bens materiais). O Estado, enquanto isso, mostra-se heroicamente na mídia através das ações de emergência, numa postura tecnocrática e intervencionista, o que é criticado por Valencio (2015).

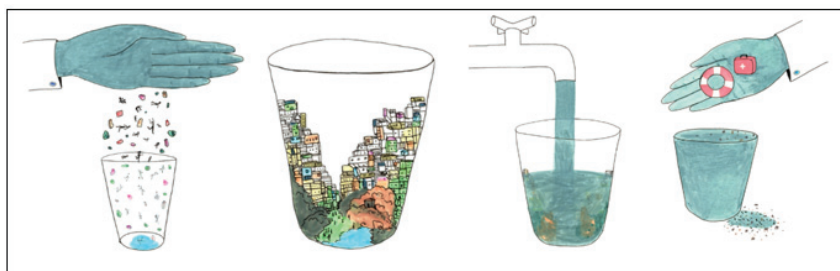


Fig. 2 - O ciclo do desastre em Petrópolis (Elaborado por Marcelo Forte, 2020).

Fig. 2 - *The disaster cycle in Petrópolis (Prepared by Marcelo Forte, 2020).*

Em relação às possíveis articulações entre essas instâncias, verificamos que além das representações²³, ocorrem ações pontuais, como a realização ou participação de eventos que reúnem diversos órgãos (parcerias sem a formalização). A articulação entre a SEMPDEC e o PARNASO ocorre com foco no risco de incêndio florestal (plano de ação com ajuda mútua). E, embora o plano de manejo PARNASO conte com o Programa de Integração Externa, o gestor salienta que o programa contempla os incêndios, especificamente no âmbito da fiscalização.

O gestor da SEMPDEC, entretanto, aponta as dificuldades de articulação com o CBH Piabanha por uma questão territorial, “[...]os *quartéis* são divididos por área operacional que atende uma determinada região geográfica e as bacias não respeitam essa divisão geográfica [...], o meu município está dentro da Bacia do Piabanha, mas parte

²³ Como apresentamos anteriormente, o PARNASO compõe o Plenário do CBH Piabanha, como também o município de Petrópolis, através de sua Secretaria de meio ambiente. Essa secretaria compõe também o CONPARNASO, que poderia contar com a representação mútua do CBH Piabanha.

dele não, a parte dele voltada para a Magé já pertence a outra Bacia [...]” (SEMPDEC, 2021). Em face disso, Alvim *et al.* (2008) chama a atenção para o fato das políticas de recursos hídricos estarem sujeitas aos critérios ambientais de recorte do território, enquanto as políticas urbanas e regionais orientam-se por critérios político-administrativos. Considerando que a política, além de pública é espacial, pois se realiza em algum lugar (Ribeiro, 2014), a Geografia pode colaborar com a articulação de escalas e recortes espaciais, quando se pretende a participação de diferentes níveis de governo em políticas públicas que objetivem programas articulados (Serpa, 2011).

Todos os entrevistados apontaram articulações com outros órgãos e setores (INEA, CEMADEN, secretarias estaduais e municipais diversas). Frente a isso, o gestor da SEMPDEC explicou como funciona a articulação das secretarias municipal, estadual e federal de defesa civil, e também como diversas secretarias municipais atuam em situações de emergência através da ativação do Gabinete de Gestão Integrada de Crise, que reúne vários setores e órgãos municipais. Por exemplo, para acelerar as vistorias, engenheiros de outras secretarias dão suporte aos engenheiros da SEMPDEC (articulação emergencial). Essa prática evidencia uma tendência intersetorial em âmbito municipal que pretendemos explorar posteriormente. Diante de tal fato, a gestora do CBH Piabanha reconhece ainda o papel fundamental do comitê na promoção da articulação entre os municípios e demais entes responsáveis, auxiliando na integração das ações relacionadas aos recursos hídricos da região.

Termos como gestão integral, intersetorialidade, articulação institucional, transversalidade, abordagem sistêmica, entre outros, vão sendo incorporados na linguagem institucional sem, no entanto, corresponder na prática às suas propostas, que são reduzidas a pequenas e pontuais atividades em parceria. Ou seja, acabam funcionando como “conceitos-coringa” presentes nos relatórios, mas vazios no propósito (IPEA, 2009).

Por outro lado, foi possível identificar a inexistência de sobreposição de ações e esforços entre as instâncias, pelo fato de que não existem maiores esforços na prevenção de risco de desastre no município, como pontuou a gestora do CBH Piabanha. Para ela, “[...] *não há sobreposição nem coordenação de ações entre os órgãos envolvidos*” (CBH-Piabanha, 2020b).

Além do mais, o gestor da SEMPDEC disse não perceber sobreposição, mas sim o oposto, a ausência (lacunas) quando se trata das inundações. Soma-se, ainda, a isso, o fato que a gestora do CBH Piabanha listou uma série dessas lacunas: a fiscalização do uso e ocupação do solo, a manutenção das redes e equipamentos de drenagem, a inexistência de um Plano Diretor de Drenagem²⁴ nos municípios da bacia hidrográfica, a falta de coordenação entre os entes envolvidos e os atores em risco, e lacunas no próprio comitê por não ter uma câmara técnica dedicada exclusivamente ao assunto.

Um ponto importante colocado pelo gestor da SEMPDEC está relacionado ao desenvolvimento da temática inundação junto à população, por exemplo, a SEMPDEC nunca realizou simulado de evacuação para inundação, só para deslizamento. Esse gestor aborda também a importância da população se tornar os olhos da defesa civil, de ser capacitada para perceber os sinais de perigo e colaborar no monitoramento, como ele exemplifica: “[...] *eu acordei de manhã depois de uma chuva forte e tem um poste tombado, tem um muro que ele está com uma barriga, você vai abrir a porta de casa e a porta não abre, tem rachaduras diagonal grande... você começa a entender aspectos de trabalho do solo. E aí o cidadão é muito importante nisso [...]*” (SEMPDEC, 2021).

Todavia, essas capacitações precisam ser inclusivas e horizontais, com a efetiva participação e valorização dos indivíduos e seus saberes, uma vez que Sulaiman (2014) critica a ideia de “*conhecer para prevenir*” da abordagem tecnocêntrica e comportamentalista, na qual o conhecer é o saber tecnocientífico e o prevenir é a mera aplicação desse conhecimento, desconsiderando os saberes locais (conhecimento dos leigos).

Por outro lado, o gestor da SEMPDEC abordou dificuldades relativas ao trabalho voluntário. Para ele, muitas vezes não há continuidade do trabalho, pois as pessoas o associam ao estar desempregado e, quando começam a trabalhar, logo o abandonam. Ou, ainda, diz que frequentemente o comprometimento que a temática do risco exige não é levado tão a sério (por exemplo: hoje é domingo eu

²⁴ A gestora tem proposto que as concessões de água e esgoto englobem a drenagem e o manejo das águas pluviais, pois assim contemplariam os dois extremos na bacia: tanto a inundação (excesso de água), quanto no estresse hídrico (estiagem). O novo PBH do Piabanha tenta alcançar essa problemática.

não vou olhar o pluviômetro). Por isso, os membros das NUDECs, atualmente, recebem salário para atuar nas comunidades, o que descaracteriza o voluntariado.

Conforme relatado, a gestora do CBH Piabanha também se preocupa com esse ponto e revela que a participação da sociedade civil, muitas vezes, está atrelada ao recebimento da diária para comparecer às reuniões. Nesse contexto, faz-se importante questionar se os recortes espaciais têm sido base espacial adequada para aproximar a sociedade das instâncias de planejamento e gestão, promovendo uma participação popular que seja efetiva e legítima (Serpa, 2011). Assim sendo, será que o recorte da Região Hidrográfica IV do Comitê do Piabanha consegue despertar em um morador de determinado bairro, em Petrópolis, a importância de sua participação ou a amplitude desse recorte é abstrata e distante para esse morador compreender seu papel?

Os entrevistados discorreram também sobre a memória da população frente ao desastre, como narra a gestora do CBH Piabanha, “ [...] *os eventos de chuvas extremas são esparsos, o último grande evento foi em 2011 e, de lá para cá, pequenas inundações com custo apenas de limpeza urbana e pequenos reparos, a memória da população não acompanha esses eventos esparsos para exigir políticas de prevenção de inundação [...]*” (CBH-Piabanha, 2020b). Similarmente, ao falar desse tema, o gestor da SEMPDEC aborda também a relação da cultura com o desastre:

“[...] Em Petrópolis em si, a população ainda é muito sensível, porque todo mundo conhece alguém que morreu, ou vizinho ou parente, ou conhecido que perdeu alguém numa tragédia na Região Serrana [...] no Rio de Janeiro você fala desastre é violência. Entendeu? É tiroteio, bala perdida. A chuva, a inundação, não é algo tão notório [...]você vai colocar o sistema de sirene em São Gonçalo...esquece....as pessoas não têm a cultura do desastre. Elas não entendem isso do desastre [...]” (SEMPDEC, 2021).

Entretanto, quando o foco é a redução da vulnerabilidade da população em áreas de risco, foram percebidas ações pontuais de assistência, como o aluguel social (prefeitura de Petrópolis), ou da participação em associação de moradores, por parte do PARNASO, em comunidades do entorno do parque, para tentar conseguir “melhorias” para essa população. Porém, a gestora do CBH Piabanha é

pontual ao afirmar que “[...] *infelizmente, a política continua sendo injuriosa com a população mais vulnerável [...]*” (CBH- Piabanha, 2020b). De modo que, embora pobreza e vulnerabilidade não sejam sinônimas, essa fala corrobora com Costa e Waquil (2008, p. 2) quando afirmam que “*os pobres são também os mais vulneráveis aos fenômenos naturais, são os que têm menos acessos institucionais e os que têm mais dificuldades de encontrar voz ativa dentro da sociedade*”.

Dentro desse contexto, a gestora do CBH Piabanha citou como exemplo o fato que, somente em 2020, as pessoas que perderam suas casas no desastre de 2011 receberiam as unidades habitacionais²⁵, no entanto, o prefeito estava segurando até o último minuto, visando a entrega nas vésperas da eleição (em 2020 ocorreram as eleições municipais).

Outro exemplo de descaso com a população atingida pelo desastre em 2011 ocorreu em Nova Friburgo. O conjunto habitacional Terra Nova, com 2.180 apartamentos, foi construído longe do centro da cidade, sem equipamentos urbanos essenciais (escolas, postos de saúde, transporte público, etc.) e sem sistema de drenagem adequado, e, quando chovia, alagava, em especial os apartamentos dos primeiros andares dos prédios (Silva *et al.*, 2019).

Na perspectiva de Valencio (2009), o desastre torna pública a vulnerabilidade institucional, que, somada aos decretos de situação de emergência e estado de calamidade pública, confirma que o Estado não foi capaz de agir preventivamente frente ao problema, que não conseguiu evitar os danos. A gestora do CBH Piabanha faz uma crítica ao poder público quanto ao descaso com a prevenção e à sua insistência em atuar no pós-desastre. Para ela, “[...] *as verbas recebidas nas situações de emergência e calamidade pública são muito tentadoras pelas poucas exigências nas licitações. Sempre havendo denúncias de desvios dessas verbas*” (CBH-Piabanha, 2020b).

Muito embora não seja objetivo, neste momento, discutir o “*uso político das enchentes*”, tratado por Frank (2003) e caracterizado como “*indústria das enchentes*” por Fraga e Köhler (1999) e Fraga (2001), ou acerca da corrupção como uma fonte de vulnerabilidade em Raposo (2019), não podemos deixar de mencionar o fato de muitas cidades

²⁵ Em junho de 2020, o Jornal Tribuna de Petrópolis noticiou que moradias com problemas de instalações elétricas, hidráulicas, janelas, gesso e até revestimento externo foram ocupadas pelos beneficiários por medo de perder o aluguel social.

brasileiras conviverem com inundações sem soluções por séculos, nas quais as razões para a omissão do poder público são pouco questionadas, bem como não se percebe os governos respondendo criminalmente por sua omissão na gestão dos riscos de desastres.

Para Silva *et al.* (2019), ao decretar situação de emergência ou estado de calamidade pública, os estados e municípios têm acesso direto a recursos oriundos da União, por meio do Fundo Especial para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil (FUNCAP). A crítica que tem sido feita é que alguns municípios usam dessas verbas para realizar obras estruturais de prevenção, ou seja, busca-se prevenir depois que o desastre ocorreu. Henrique e Batista (2020) apontam o problema da politização dos desastres naturais, já que o alinhamento partidário beneficia-se no reconhecimento de declarações de emergência, na alocação de recursos de transferências federais e no valor dos recursos a serem alocados aos municípios aliados ao Governo Federal, principalmente do partido do ministro da Integração Nacional.

Acreditamos, assim, que o problema central na gestão de risco de inundação, em Petrópolis, é a ausência de um órgão que compreenda essa temática como sua prioridade e passe a coordenar, integrar e mobilizar diferentes instâncias e setores dos diversos entes federativos em torno da gestão de risco de inundação. Percebemos, nesse ínterim, que o CBH Piabonha tem se preocupado com questões quali-quantitativa das águas na bacia, que a SEMPDEC internalizou a responsabilidade pelos deslizamentos e processos geológicos correlatos, e o PARNASO tem a importante missão na preservação da Mata Atlântica. Entretanto, quem se responsabiliza pelas inundações? Qual órgão internalizará a gestão do risco de inundação como sua responsabilidade principal e encabeçará essa empreitada?

Vale destacar que, no dia 26 de fevereiro de 2021, o estado do Rio de Janeiro, em parceria com o INEA, lançou o Programa Estadual de Segurança Hídrica (PROSEGH)²⁶, que tem, dentre seus objetivos, fomentar a integração da gestão dos recursos hídricos com as demais políticas setoriais e minimizar a vulnerabilidade hídrica relacionada às cheias, estiagens e poluição dos corpos hídricos²⁷. Além disso,

²⁶ Instrumento de organização (ações, projetos e programas) que visa promover o aumento da segurança hídrica no estado.

²⁷ Um dos componentes desse programa trata dos riscos associados às águas, que tem como objetivo gerir os riscos de secas e inundações.

em junho de 2021, foi aberto o certame do edital de licitação para a elaboração do seu Plano Estadual de Segurança Hídrica (PESHI)²⁸ e para a atualização do seu Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI). Acreditamos que esses documentos apresentam grande potencial de integração, que possibilitará ao estado do Rio de Janeiro a articulação com diferentes políticas públicas, como a Política Estadual de Defesa Civil, bem como o fortalecimento da integração de diferentes instâncias (comitês de bacia hidrográficas, secretarias estaduais e municipais de proteção e defesa civil, a Secretaria de Estado do Ambiente - SEAS, a Superintendência de Recursos Hídricos - SUPREH, unidades de conservação, entre outras), com foco na gestão de risco de inundação.

Considerações finais

Considerando a análise das políticas públicas, verificamos a importância da PNPDEC, responsável direta pelo gerenciamento de riscos, representando uma mudança de paradigma no Brasil. Embora a linguagem do risco ainda não fosse comumente utilizada no Brasil, quando a PNRH foi elaborada, ela teve como objetivo a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos. De tal modo, o SNUC, apesar de não tratar das inundações, possui atividades que dialogam diretamente com a preservação dos recursos hídricos, e todas elas destacam o pressuposto deste trabalho, que é a articulação entre políticas públicas, inclusive, como dever da PNPDEC.

Nos planos, entretanto, o que foi previsto na legislação aparece de forma bem tímida. O PMRR de Petrópolis, por exemplo, apesar de mapear as áreas de risco de inundação, não apresentou ações de intervenção e nem destinou recursos para essas áreas. O plano de contingência de inundação do referido município apresenta uma matriz de atividades e responsabilidades que foi alterada recentemente e o CBH Piabanha, que participava apoiando algumas ações, já não mais atua, indo na contramão da articulação. De acordo com o plano recém-aprovado da CBH

²⁸ Principal instrumento de planejamento do PROSEGH.

Piabanha, é reafirmada sua prioridade com relação ao saneamento básico, mas apresenta um programa para a gestão de risco que será dependente do PIRH-PS. Aí estão previstas reuniões com as prefeituras e secretarias de defesa civil, sendo esta a única ação nos planos analisados que aponta para um contato entre as instituições analisadas. Nem mesmo o programa de integração externa no plano de manejo do PARNASO traz articulação com as demais instâncias estudadas.

Quanto às entrevistas, o contato direto com os gestores que se mostraram empenhados em colaborar com a pesquisa foi de fundamental importância para compreender as políticas para além da fase de formulação. Primeiramente, ficou evidente que, mesmo sendo um problema na região, causando transtornos todos os anos, as inundações não são prioridades de nenhuma das instâncias, principalmente no contexto da gestão de risco. Nesse entendimento, a SEMPDEC, responsável imediata pela gestão dos riscos, tem se debruçado na problemática dos deslizamentos, que estão associados aos desastres com maior número de óbitos no município. Já o CBH Piabanha tem como prioridade as questões quali-quantitativas da água. E o PARNASO, que objetiva a preservação da Mata Atlântica, tem o risco de incêndio florestal como urgência, ainda que as inundações ocorram em sua zona de amortecimento. Entretanto, com a criação do NGI Teresópolis, que inclui também a APA Petrópolis, aumentará a área de atuação da chefia no território de Petrópolis, o que pode ser uma possibilidade de estabelecer parcerias frente ao risco de inundação. Logo, se as instâncias não se percebem como responsáveis pela gestão do risco de inundação, certamente não há como se articularem em prol da resolução da problemática da inundação. Desse modo, a articulação é minimamente percebida; por exemplo, no fato do PARNASO compor o Plenário do CBH Piabanha e, com outro foco, na parceria do PARNASO com a SEMPDEC na gestão de risco de incêndio florestal.

Destarte, tal contexto revela o quão urgente se torna que algum órgão estadual ou municipal se responsabilize pela gestão do risco de inundação em Petrópolis, atuando como um agente coordenador e articulador de ações e setores/órgãos/instâncias, buscando efetivar as prerrogativas das políticas públicas analisadas e o compromisso frente ao risco de desastre e à integração de políticas públicas, operando na gestão integral e integrada do risco.

Bibliografia

- Água baixa e revela estragos deixados pela enchente em Petrópolis, no RJ (2020). *G1*. Petrópolis, 09 de janeiro. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2020/01/09/agua-baixa-e-revela-estragos-deixados-pela-enchente-em-petropolis-tres-familias-estao-em-ponto-de-apoio.ghtml> (acesso em: 22 maio de 2020).
- Almeida, L. Q. de., Pascoalino, A. (2009). Gestão de risco, desenvolvimento e (meio) Ambiente no Brasil - um estudo de caso sobre os desastres naturais de Santa Catarina. In: *Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Disponível em: www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos.../061.pdf (acesso em: 18 de set. 2018).
- Alvim, A. T. B., Bruna, G. C. e Kato, V. R. C. (2008). Políticas ambientais e urbanas em áreas de mananciais: interfaces e conflitos. *Cadernos Metrópole* 19. São Paulo: EDUC.
- Assumpção, R.F. (2015). *Petrópolis - um histórico de desastres sem solução? Do Plano Köeller ao Programa Cidades Resilientes (Tese de Doutorado)*. Tese apresentada na Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 246 f.
- Azevedo, S. de (2003). Políticas públicas: discutindo modelos e alguns problemas de implementação. In: Santos Júnior, O. A. dos et al. *Políticas públicas e gestão local: programa interdisciplinar de capacitação de conselheiros municipais*. Fase, Rio de Janeiro.
- BRASIL (2012). *Lei n.º 12.608, de 10 de abril de 2012*. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e dá outras providências. Brasília-DF: D.O.U. de 11/4/2012.
- BRASIL (1997) *Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e dá outras providências. Brasília, DF: D.O.U de 09/01/1997, 470 p.
- BRASIL (2000) *Lei Federal n.º 9.985, de 18 de julho de 2000*. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: D. O. U de 19/07/2000.
- BRASIL (2018). Boletim epidemiológico, desastres naturais e saúde: análise do cenário de eventos hidrológicos no Brasil e seus potenciais impactos sobre o Sistema Único de Saúde. Ministério da Saúde, 2018. Vol. 49, p. 13. Disponível em: <https://antigo.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/22/2017-032-Publicacao.pdf> (acesso em: 16 de nov. de 2018).
- Bronzo, C. & Veiga, L. (2007). Intersetorialidade e políticas de superação da pobreza: desafios para a prática. *Serviço Social e Sociedade*, n. 92, 5-21.
- CBH-PIABANHA (2015). *Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Piabanha e das sub-bacias hidrográficas dos rios Paquequer e Preto*. Resolução CBH- Piabanha n.º 33 de 2015. Plano de Aplicação Plurianual (PAP) de recursos financeiros do CBH Piabanha para o período de 2016 a 2020. Disponível em: <http://comitepiabanha.org.br/resolucoes/2015/33-res-6.11.15.pdf> (acesso em: 14 de maio de 2021).
- CBH-PIABANHA (2017). Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Piabanha e das sub-bacias hidrográficas dos rios Paquequer e Preto. *Resolução CBH-Piabanha n.º 41/2017*. Altera o Plano de Aplicação Plurianual (2016 a 2020). Disponível em: <http://comitepiabanha.org.br/resolucoes/2017/resolucao-41.pdf> (acesso em: 16 de maio de 2021).
- CBH-PIABANHA (2020a). Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Piabanha e das sub-bacias hidrográficas dos rios Paquequer e Preto. *Resolução CBH-Piabanha n.º 61 de outubro de 2020*. Plano de Aplicação Plurianual (PAP) de recursos financeiros do CBH Piabanha para o período de 2021 a 2025.

- CBH-PIABANHA (2020b). *Comitê de Bacia Hidrográfica Piabanha*. Entrevista cedida ao pesquisador em 11 de agosto de 2020.
- CBH-PIABANHA (2020c). Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha e Sub-Bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto. *Regimento Interno*, 2020. Disponível em: <http://www.comitepiabanha.org.br/regimento-interno.php> (acesso em: 6 de jun. 2021).
- CBH-PIABANHA (2021). Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha e Sub-Bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto. *Plano de Bacia da Região Hidrográfica do Rio Piabanha e Sub-Bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto*. Elaboração de PROFILL Engenharia e Ambiente S.A. 2021 p. 498. Disponível em <http://www.comitepiabanha.org.br/plano-de-bacia.php> (acesso em maio de 2021).
- Christofidis, D. *Olhares sobre a Política de Recursos Hídricos no Brasil: O caso da bacia do São Francisco (Tese de doutora)*. Apresentada ao programa em Gestão e Política Ambiental, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. Brasília, 2001.
- Chuva provoca alagamentos e queda de muro em Petrópolis, RJ, nesta quinta; ninguém ficou ferido. (2019). G1. *Petrópolis*, 16 de maio. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2019/05/16/chuva-provoca-alagamentos-e-queda-de-muro-em-petropolis-rj-nesta-quinta-ninguem-ficou-ferido.ghtml> (acesso em: 16 ago. de 2019).
- Costa, A. M. J. & Waquil, P. D. (2008). O empobrecimento e a vulnerabilidade da população rural em situações de Seca: o caso de Santo Cristo, R.S. In: 4.º *Encontro de Economia Gaúcha, Porto Alegre. Anais...* Porto Alegre, 1-20.
- Dye, T. D. (2005). Understanding Public Policy. *Upper Saddle*, N.J.: Prentice Hall. 1 p.
- Dulac, V.F. & Kobiyama, M. (2017) Interfaces entre políticas relacionadas a estratégias para redução de riscos de desastres: recursos hídricos, proteção e defesa civil e saneamento. *Rega*, v.14, n.º 10, 20 p.
- Fraga, N. C. (2001). As enchentes no Vale do Itajaí-Açu/SC: das obras de contenção à indústria da enchente - a problemática ambiental e a relação homem natureza. *Raega*, vol. 5. 126 - 148. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/raega/article/view/18320> (acesso em: 16 de maio de 2021).
- Fraga, N. C. & Köhler, V. B. (1999). As enchentes no Vale do Itajaí-Açu/SC: das obras de contenção à indústria da enchente. *Boletim de Geografia*, vol. 17. p. 81-92. Disponível em: <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/12065> (acesso em: 12 de maio de 2021).
- Frank, B. (2003). Uma história das Enchentes e seus ensinamentos. In: Frank, B. & Pinheiro, A. (Orgs.). *Enchentes na Bacia do Rio Itajaí: 20 anos de experiências*. Blumenau: Edifurb.
- Gonçalves, R. C. (2008). *Modelagem hidrológica do tipo chuva-vazão via SMAP e TOPMODEL - Estudo de Caso: Bacia do Rio Piabanha/RJ*. Curso de Engenharia Civil. Rio de Janeiro: COPPE / UFRJ.
- Henrique, A., Batista, M. (2020). A politização dos desastres naturais: alinhamento partidário, declarações de emergência e a alocação de recursos federais para os municípios no Brasil. *Opinião Pública*, vol. 26, n.º 3, Campinas, set.-dez., 522-555. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-01912020263522> (acesso em 16 maio de 2021).
- ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (2007). *Plano de Manejo do Parque Nacional Serra dos Órgãos*. Disponível em <https://www.icmbio.gov.br/parnaserradosorgaos/o-que-fazemos/gestao-e-manejo.html> (acesso em 22 setembro de 2019).
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2017). Coordenação de População e Indicadores Sociais. *Pesquisa de Informações Básicas Municipais*. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a. 106 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101595.pdf> (acesso em: nov. 2020).

- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010). *Censo Demográfico 2010 - Resultados definitivos*. 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_dou/RJ2010.pdf (acesso em: 18 de ago. de 2019).
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (s.a). *Cidades@ Ibge*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default2.php> (acesso em: 16 de nov. 2020).
- IPEA (2009). Avanços e Desafios da Transversalidade nas Políticas Públicas Federais Voltadas para Minorias. In: IPEA. *Brasil em Desenvolvimento: Estado, planejamento e políticas públicas*, vol. 3. Brasília, 779-795.
- INEA (2020). *Instituto Estadual do Ambiente. Boletim hidrometeorológico*. Disponível em: <http://alertadecheias.inea.rj.gov.br/analise.php> (acesso em: 15 de mar. de 2020).
- Kobiyama, M. & Goerl, R. F. (2011) Identificação dos riscos. *Revista Emergência*, vol. 25, Novo Hamburgo, fev-mar., 48 – 52.
- Lázaro, Lira Luz Benites (2013). Desastres naturais e vulnerabilidade social e institucional: caso do Petrópolis – brasil. Conference. II *Encontro Nacional Sobre População, Espaço e Ambiente* – GT PopEA – ABEP, realizado em São José dos Campos - SP, Brasil, em 29 e 30 de outubro de 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313516150_DESASTRES_NATURAIS_E_VULNERABILIDADE_SOCIAL_E_INSTITUCIONAL_CASO_DO_PETROPOLIS_-_BRASIL/citations (acesso em: 15 de maio de 2021).
- Lourenço, L. (2008) Perigos das cartas de risco. Comentários ao modelo proposto no Guia Técnico para Elaboração do PMDFCI". *Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança*, vol. 15, Coimbra, Portugal, 122-126. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_15_18
- Marandola Júnior., E. & Hogan, D. J. (2004) Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. *Ambiente & Sociedade*, vol. 7, n.º 2, Campinas, jul./dez. p. 95-109.
- Marcondes, M. M, Sandim, T. L., Diniz, A. P. R. (2018). Transversalidade e Intersetorialidade: mapeamento do debate conceitual no cenário brasileiro. *Administração Pública e Gestão Social*, [S.l.], 22-33. Disponível em: <https://www.apgs.ufv.br/index.php/apgs/article/view/1527> (acesso em: 07 nov. 2018).
- Mediondo, E. M. (2006). Apresentação. In: Kobiyama et al. *Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos*. Curitiba: Organic Trading, 109 p.
- Miguez, M. G., Gregorio, L. T., Veról, A.P. (2018). *Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos*. 1.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 81p.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (BRASIL) (2016). *Sistema integrado de informações sobre desastres (S2ID)*. Disponível em: <https://s2id-search.labtrans.ufsc.br> (acesso em: 18 de set. 2019).
- Machado, L. (2020). Família perde tudo após casa ser inundada em Petrópolis, RJ; ‘cena não sai da minha cabeça’, diz moradora. *G1. Petrópolis*, 17 de novembro. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2020/11/17/familia-perde-tudo-apos-casa-ser-inundada-em-petropolis-rj-cena-nao-sai-da-minha-cabeca-diz-moradora.ghml> (acesso em: 15 jan. de 2021).
- OCHA - UNITED NATIONS OFFICE FOR THE CORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS (2020) *Natural disasters in Latin America and the Caribbean 2000-2019*. 20p. Disponível em: <https://www.humanitarianresponse.info/en/operations/latin-america-and-caribbean/document/latin-america-and-caribbean-natural-disasters-2000> (acesso em: 1 de jan. 2020).

- Nascimento, S. do. (2010). Reflexões sobre a intersetorialidade entre as políticas públicas. *Revista Serviço Social e Sociedade*, n. 101, jan/mar., p. 95-120. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ssoc/n101/06.pdf> Acesso em 14/09/2015 (acesso em: 20 de nov. 2019).
- PARNASO - PARQUE NACIONAL SERRA DOS ÓRGÃOS (2020). Entrevista cedida ao pesquisador em 21 de outubro de 2020.
- Portugal (2010). Decreto-Lei n.º 115/2010 de 22 de outubro de 2010. Avaliação e gestão dos riscos de inundações. *Diário da República*, vol. 1, n. 206, 3530 - 4758.
- Petrópolis, P. M. R. J. (2013). Sistema Municipal de Proteção e Defesa Civil. *Plano de contingência de proteção e defesa civil*. Disponível em: <https://www.petrópolis.rj.gov.br/dfc/index.php/planos-de-contingencia.html> (acesso em: 20 de agosto de 2019).
- Petrópolis, P. M. R. J. (2021). Sistema Municipal de Proteção e Defesa Civil. *Plano de contingência de Proteção e defesa civil*. Disponível em: <https://www.petrópolis.rj.gov.br/pmp/index.php/prefeitura/181-secretarias/defesa-civil/334-plano-verao.html> (acesso em: 11 de maio de 2021).
- Petrópolis, P. M. R. J. (2017). *Secretaria de obras, habitação e Regularização Fundiária*. Plano Municipal de Redução de Risco. Elaboração de Theoprátique Arquitetura e Engenharia. Disponível em: <https://sig.petrópolis.rj.gov.br/> (acesso em: 20 agosto de 2019).
- PREFEITURA DE PETRÓPOLIS (2017). Cidade conhece o Plano Municipal de Redução de Riscos. 17 de maio. Disponível em: <https://www.petrópolis.rj.gov.br/pmp/index.php/imprensa/noticias/item/5901-cidade-conhece-o-plano-municipal-de-redu%C3%A7%C3%A3o-de-riscos.html> (acesso em: 15 jan. de 2019).
- Raposo, L. C. M. M. de M. (2019) Desastres políticos após desastres naturais: Uma análise comparativa da governança em Desastres entre as cidades de Teresópolis –Brasil e Áquila – Itália. In: Prandel, J. A. *Redução de riscos de desastres: métodos e práticas*. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 66-76.
- RIO DE JANEIRO (2005). *Decreto Estadual n.º 38.235 de 14 de setembro de 2005*. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha e sub-bacias hidrográficas dos rios Paqueta e Preto, no âmbito do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial do Estado.
- RIO DE JANEIRO (2015). *Decreto Estadual n.º 45.461 de 25 de novembro de 2015*. Dá nova redação ao Decreto Estadual n.º 38.235. Diário Oficial do Estado.
- Saravia, E. (2006) Introdução à teoria da política pública. In: Ferrarezi, E. (Org.). *Políticas públicas*. Brasília, DF: ENAP, 21-42. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/bitstream/rii/4283/2/TCC-%20BIB%20-%202010%20Carlos%20Silveira.pdf> (acesso em: 10 de jan. de 2021).
- Serpa, Â. (2011). Políticas públicas e o papel da Geografia. *Revista da Anpege*, vol. 7, n. 1, 37-47. Disponível em: www.anpege.org.br/revista (acesso em: 14 de jan. de 2021).
- SEMPDEC - SECRETARIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (2021). Entrevista cedida ao pesquisador em 21 de janeiro de 2021.
- Silva, E. L. e. (2020). *Transversalidade das políticas públicas na gestão de risco de inundações (tese de doutorado)*. Apresentada em Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 186 f.
- Silva, C. A. M. da. (2015). Os desastres no Rio do Janeiro: conceitos e dados. *Cadernos do Desenvolvimento Fluminense*, Rio de Janeiro, jul./dez., 5, 5-71. DOI: <https://doi.org/10.12957/cdf.2015.26555>
- Silva, C. G. T. da., Neto, J. A. B., Freitas, C. M. de., Santos, M. P. dos. Nascimento, M. T. L. do. Santos, A. D. de O. (2019). Análise dos programas governamentais voltados para a redução de riscos e

- recuperação pós-desastres na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. In: Prandel, J. A. *Redução de riscos de desastres [recurso eletrônico]: métodos e práticas*. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 40-56.
- Silva, P. V. R. M. da., Pecly, J. O. G., Azevedo, J. P. S. de. (2017). Uso de traçadores fluorescentes para determinar características de transporte e dispersão no Rio Piabanha (RJ) para a modelagem quali-quantitativa pelo HEC-RAS. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 22, n.º 3, ISSN 1809-4457, Rio de Janeiro, 463-472. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017150187>
- Sistema de Integrado de Informações sobre Desastres – S2iD*. Portal do Governo Brasileiro. Disponível em: <https://s2id-search.labtrans.ufsc.br> (acesso em: 15 de mar. de 2020).
- SONHO DA CASA PRÓPRIA VIRA PESADELO NO CONJUNTO HABITACIONAL DA POSSE (2019). *Tribuna de Petrópolis*. Petrópolis, 13 de maio. Disponível em: <https://tribunadepetropolis.com.br/noticias/sonho-da-casa-propria-vira-pesadelo-no-conjunto-habitacional-da-posse> (acesso em: 22 de mar. de 2020).
- Sulaiman, S. N. (2018). Educação para prevenção de desastres: A persistência do conhecimento técnico científico e da individualização do risco.. *Territorium - Revista Internacional de Riscos*, n.º 25, 19-30, ISSN: 1647-7723. DOI: <https://doi.org/10.14195/1647-7723>
- Souza, K. R. G., Lourenço, L. (2015) A evolução do conceito de risco à luz das ciências naturais e sociais. *Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança*, n.º. 22, 31-44. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_22_1
- Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (2011). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. 1.ed. São Paulo: Instituto Geológico, 196 p.
- Valencio, N. (2015). Desastres normais: das raízes aos rumos de uma dinâmica tecnopolítica perversa. In: Siqueira, A. et al. *Riscos de desastres relacionados à água: aplicabilidade de bases conceituais das Ciências Humanas e Sociais para a análise de casos concretos*. São Carlos: Rima, 79-120.
- Veyret, Y. (2015). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. – 2. ed., São Paulo: Contexto.
- Viana, V. J., Johnsson, R. M. F. (2017). Redução de Riscos de Desastres Associados a Inundações: Nova Abordagem nas Políticas Públicas Brasileiras. *Semioses*, vol.11, n.º 3, 19-32.

**CONTRIBUIÇÃO DA EDUCAÇÃO NA RESOLUÇÃO
DO RISCO DE INUNDAÇÃO: ESTUDO DE CASO
ATRAVÉS DA OBSERVAÇÃO DE IMAGENS**
**HOW EDUCATION CONTRIBUTES TOWARDS
SOLVING THE RISK OF FLOODING: CASE STUDY
THROUGH THE OBSERVATION OF IMAGES**

Mário Talaia

Universidade de Aveiro

Centro de Investigação Didática e Tecnologia de Formação de Formadores (Portugal)

ORCID: 0000-0003-4311-6209 mart@ua.pt

Pedro Talaia

Universidade Nacional Timor Lorosa'e

Programa de Pós-Graduação e Pesquisa (Timor-Leste)

ORCID: 0000-0002-4130-0021 pedro.talaia@untl.edu.tl

Resumo: São apresentados fundamentos teóricos que permitem a interpretação do risco de inundações. São usadas imagens de diferentes locais para mostrar as consequências do risco de enchente face ao leito normal de um rio ou linha de água. A interpretação da física envolvida na interpretação dos fenómenos físicos parece ser uma valiosa contribuição para se tomarem estratégias de prevenção de eventos futuros.

Palavras-chave: Inundação, risco de catástrofe, linhas de corrente, energia de pressão e energia cinética.

Abstract: Theoretical foundations that allow the interpretation of flood risk are presented. Images from different locations are used to show the consequences of flood risk with respect to a typical river bed or watercourse. The interpretation of the physics involved in explaining physical phenomena seems to be a valuable contribution to decide on strategies to be taken to prevent future events.

Keywords: Flooding, streamlines, disaster risks, pressure energy, and kinetic energy.

Introdução

Na atmosfera há diferentes tipos de circulação e estes podem gerar condições favoráveis de precipitação atípica com consequentes inundações. São as diferenças de pressão entre duas isobáricas mais próximas ou mais afastadas que geram a intensidade da movimentação de massas de ar. Se a pressão aumenta para a periferia ou se a pressão diminui para a periferia condiciona se há divergência ou convergência nas massas de ar. Os movimentos das massas de ar com a sua identidade de pressão, humidade relativa e temperatura se deslocadas para locais com outras condições atmosféricas podem suscitar precipitação se houver condensação de vapor de água.

A precipitação pode suscitar movimentação de água na superfície terrestre com elevada energia cinética e uma coluna de água acima do valor normal (médio), criando um perfil de velocidade vertical também atípico. Estas condições favorecem a formação de cenários de inundação, surgimento de enxurradas, rebentamento de diques, arrasto de detritos, subsidência dos solos, e outros como o risco de cheias e o risco de inundações fluviais afetando milhares de pessoas e com consequentes efeitos sociais, políticos, económicos e financeiros. Os resultados do passado fazem aprender a corrigir erros para o futuro.

Neste trabalho apresenta-se uma análise qualitativa que favorece uma descrição da física envolvida e da sua interpretação através de imagem. São apresentados, a título de exemplo, inundações recorrentes registadas na zona ribeirinha de Águeda, a zona

envolvente do baixo-Vouga (e.g. Sernada do Vouga, São João de Loure, Angeja e Autoestrada A25 junto ao nó 6), em Díli - Timor-Leste, e em Luanda - Angola.

A metodologia apresentada e seguida é sustentada por equações matemático-físicas que descrevem os fenómenos descritos e que suscitam inundações atípicas, e/ou danos irreparáveis em estradas, pontes e habitações.

A contribuição qualitativa permite a adoção de estratégias de intervenção para minimizar o efeito do risco de inundações, através de um mapeamento das zonas suscetíveis de ocorrer inundação e correntes atípicas de grande intensidade de água.

Fundamentos teórico e resultados através de imagem

Este texto não dispensa a consulta à bibliografia da especialidade. Tem apenas por objetivo facilitar “um fio condutor” para a interpretação de fenómenos físicos usando expressões desenvolvidas por diferentes autores.

O conhecimento de algumas propriedades físicas da água é importante. A massa volúmica da água é cerca de 1000 vezes superior à massa volúmica do ar. De acordo com o princípio de Arquimedes qualquer corpo mergulhado num fluido (gás ou líquido) em repouso sofre, por parte deste fluido, uma força vertical debaixo para cima denominada Impulsão, cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo (Massey, 2002; White, 1983).

Um fluido tem sempre pressão, mas a intensidade de pressão não pode ser medida diretamente. Todos os instrumentos utilizados na sua medição indicam uma diferença de pressão. Esta diferença é frequentemente a que existe entre o fluido em estudo e a atmosfera envolvente. A pressão da atmosfera (isto é, a pressão ambiente local) é habitualmente utilizada como pressão de referência, isto é, como “zero” da escala das pressões. Nesse caso, a diferença de pressão registada pelo instrumento de medida é designada como pressão manométrica ou pressão relativa. Assim, a pressão absoluta é a pressão dada pela soma da pressão relativa e da pressão atmosférica.

O movimento de um fluido pode ser visualizado como o movimento de diferentes camadas adjacentes. A resistência ao movimento de cada camada do fluido, sobre a camada vizinha, é atribuída à viscosidade do fluido. Uma vez que o movimento relativo

entre camadas adjacentes só é possível se houver forças tangenciais (também chamadas forças de corte), isto é, forças paralelas às superfícies sobre as quais atuam, as forças que resistem às forças de corte têm que ter sentido oposto a estas (de acordo com o princípio da ação e reação), sendo, portanto, também paralelas a essas mesmas superfícies.

Newton postulou que, no movimento retilíneo de um fluido, entre planos paralelos, a tensão de corte ou tangencial entre duas camadas adjacentes é proporcional ao gradiente de velocidade na direção perpendicular a essas camadas

O esforço de corte deforma o fluido dando a este a propriedade de escoar, ou seja, de mudar de forma. O escoamento tem a ver com a facilidade da mudança de forma do fluido, sob a ação de esforço cortante (tangencial).

Um fluido é constituído por linhas de corrente que são curvas imaginárias, tomadas através do fluido, para indicar a direção da velocidade em diversos pontos. As linhas de corrente não podem cortar-se, pois, em caso positivo, a partícula (que estivesse no ponto de intersecção das linhas de corrente) teria velocidades diferentes ao mesmo tempo, o que não é possível (Massey, 2002).

A variação da massa de líquido, contida num determinado volume, limitado por uma superfície durante um certo tempo, é igual ao caudal mássico de líquido através dessa superfície, durante o mesmo tempo, ou seja, é igual à massa de líquido que nele entra, diminuída da massa de líquido que dele sai, durante um intervalo de tempo.

O caudal de fluido que escoar pode ser avaliado através da expressão

$$Q_m = \rho A v \quad (1)$$

em que Q_m representa o caudal mássico, ρ a massa volúmica do fluido, A a área da secção reta de escoamento e v a velocidade média do escoamento.

As correntes de movimento de massas de água em profundidade, devido à diferença de temperatura que favorece diferentes pressões, podem ocorrer. De acordo com a literatura da especialidade de mecânica de fluidos (White, 1983; Massey, 2002; Kay e Nedderman, 2013) um fluido em movimento gera uma força denominada de arrasto definida por

$$F_d = (1/2) C_d A \rho v^2 \quad (2)$$

em que F_d representa a força de arrasto, C_d o coeficiente de arrasto ou de forma, A a área da secção reta projetada segundo o movimento do fluido, ρ a massa volúmica

do fluido e v a velocidade do fluido. C_d , parâmetro adimensional, depende do tipo de escoamento função do número de Reynolds que define a relação entre as forças de inércia e as forças viscosas.

Na aplicação em zonas urbanas com elevada precipitação, a força de arrasto deve ser valorizada quando atua perpendicularmente numa área produzindo a pressão atuante, quando se fala em risco de inundações e corredores de água que geram caudais anormais que podem ser avaliados através da técnica de medidores de caudal por calha Parshall. Se a força for oblíqua favorece a presença de uma pressão num corpo e de tensão de corte em superfícies tangenciais e pode arrastar facilmente grandes corpos sólidos (a relação entre a densidade da água e a densidade de granito, por exemplo, é cerca de 1:2,6). Na presença de caudais atípicos o escoamento de água deve ser valorizado para se evitarem catástrofes.

O medidor de caudal Parshall é projetado para medir caudais em diferentes aplicações e com escoamento do líquido por gravidade, através de calhas que formam a largura de uma garganta que regista a coluna de água. A altura da coluna de água que atravessa a garganta é calibrada para informar o caudal de escoamento. A altura da coluna de água ou nível da água registada na marca da escala, que por consulta a tabela informa o caudal instantâneo. Há vantagem na utilização do medidor de caudal Parshall por ser simples através da escala de altura depois de testado e calibrado.

O controlo automático do medidor de caudal Parshall obriga ao conhecimento das técnicas de aquisição de dados por instalação de tomas para transdutores diferenciais de pressão que registam, no tempo, a variação do nível de água e o consequente caudal de água que atravessa a seção reta de controlo da passagem do escoamento de água pela garganta. É possível registar dados instantâneos, por hora, dia, mês ou ano que são enviados para uma sala de comando.

Na aplicação de medidor de caudal Parshall devem ser analisados: profundidade da água no canal; caudais máximos e mínimos; largura do canal a montante e a jusante; perda de carga admissível e previsão para caudal futuro.

Outra noção, a valorizar nos escoamentos turbulentos em que as forças de inércia são dominantes, tem a ver com a aplicabilidade do Teorema de Bernoulli (Kay and Nedderman, 2013) nas linhas de corrente que são bloqueadas no choque com um

corpo em que a energia cinética tende para zero aumentando a energia de pressão desse valor, ou seja, a pressão, em altura manométrica, aumenta de $(1/2)(v^2/g)$.

Em profundidade ou para maior coluna de água, maior será a pressão absoluta que se regista a um nível mais afastado da superfície livre ou interface líquido/atmosfera. A pressão absoluta é determinada, como já referido, pela soma da pressão devida à coluna de água a esse nível de profundidade e da pressão atmosférica ao nível da interface água/atmosfera. Esta situação está em concordância com a Equação Fundamental da Hidrostática (Kay and Nedderman, 2013; Massey, 2002), que mostra ser

$$p = p_0 + \rho g z \quad (3)$$

em que p representa a pressão absoluta ao nível z , p_0 a pressão atmosférica, z a altura de coluna de água, ρ a massa volúmica da água e g a aceleração devida à gravidade.

A equação de Bernoulli permite escrever

$$p/(\rho g) + v^2/(2g) + z = \text{constante} \quad (4)$$

em que $p/(\rho g)$ representa a energia de pressão, $v^2/(2g)$ a energia cinética e z a energia de posição ou potencial.

A expressão (4) também pode apresentar a forma

$$p + \rho v^2/2 + \rho g z = \text{constante} \quad (5)$$

em que p representa a pressão estática, $\rho v^2/2$ a pressão dinâmica e $\rho g z$ a pressão relativa.

A decisão da escolha da aplicação da expressão (4) ou (5) depende do utilizador, pois são duas vias de interpretação, ou por energia ou por pressão.

Se a uma linha de corrente for aplicada a expressão (5) e essa linha for bloqueada no seu movimento a pressão p passa a ser $p + \rho v^2/2$ e é chamada de pressão de estagnação.

Uma aplicação é o tubo de Pitot (instrumento de medição de velocidade muito utilizado para medir a velocidade de fluidos e usa-se em hidrologia para medir indiretamente um caudal), que foi usado para avaliar o perfil de velocidade da seção reta transversal do rio Sena, em Paris, França. A partir do perfil de velocidades foi avaliado o caudal mássico.

Para uma corrente de fluido em canal aberto, isto é, com superfície livre, apenas o tubo de Pitot é necessário, para medir a velocidade, uma vez que a diferença entre as pressões estática e de estagnação é medida diretamente. Mas para escoamento confinado de um líquido (escoamento sem superfície livre), ou para escoamento de gás, a indicação do tubo de Pitot corresponde apenas à pressão de estagnação e torna-se necessário medir a pressão estática, separadamente.

Um tubo de Pitot pode ser de vidro dobrado em ângulo reto, com diâmetro suficiente para que os efeitos de capilaridade sejam desprezados. Quando se atinge o equilíbrio no interior do tubo, o fluido fica parado e a pressão na boca do tubo excede a pressão do fluido circundante de um montante $(1/2)\rho v^2$. O líquido sobe assim, na parte vertical do tubo, até uma altura h acima da superfície livre da interface líquido/atmosfera de um valor

$$h = \Delta p / (\rho g) = v^2 / (2g) \quad (6)$$

Registado o valor de h facilmente se determina v .

Numa linha de corrente de fluido em escoamento, chama-se ponto de estagnação a um ponto onde a velocidade é reduzida a zero, independentemente de efeitos de viscosidade. Qualquer obstáculo fixo, colocado numa corrente de fluido, dá origem a um ponto de estagnação, na proximidade da região frontal do obstáculo. De salientar que a superfície de contorno do próprio objeto é formada por linhas de corrente (dado que não há escoamento através de uma parede) e o fluido, originalmente em deslocamento ao longo da linha de corrente, que não se pode dirigir-se simultaneamente para a direita e/ou para a esquerda, a velocidade terá de ser nula e gera um ponto de estagnação.

A equação de Bernoulli (5) é constante ao longo de uma linha de corrente, para escoamento permanente e não viscoso de fluido, de massa volúmica constante. Se a velocidade for reduzida a zero num dado ponto, a pressão nesse ponto aumentará de $(1/2)\rho v^2$ (se não houver cota z). Para um fluido de massa volúmica constante, a grandeza $p + (1/2)\rho v^2$ é conhecida como pressão de estagnação dessa linha de corrente, enquanto que $(1/2)\rho v^2$ (que é a parcela de pressão de estagnação devida ao movimento) é conhecida como pressão dinâmica.

No caso de inundações é necessário, muitas vezes, a utilização de bombas centrífugas. Estas devem ser projetadas considerando perdas de carga na admissão e descarga da linha de instalação com a bomba.

As perdas de carga podem ser determinadas aplicando as expressões em termos de pressão ou em termos de altura.

$$\Delta p_{\text{total}} = \Delta p_{\text{linha-tubagem}} + \Delta p_{\text{acessórios}} \text{ (Pa)} \quad (7)$$

$$h_{\text{total}} = h_{\text{linha-tubagem}} + h_{\text{acessórios}} \text{ (m)} \quad (8)$$

em que Δp representa uma diferença de pressão e h uma altura manométrica.

A escolha de uma bomba centrífuga baseia-se no conhecimento do caudal mássico e na altura manométrica total (admissão e descarga). São usadas curvas características do fabricante que são confrontadas com a curva da instalação a usar. A interseção das duas curvas permite a escolha da bomba no seu ponto otimizado.

A equação de Bernoulli generalizada permite escrever

$$p_1/(\rho g) + v_1^2/(2g) + z_1 + h_{\text{bomba}} = p_2/(\rho g) + v_2^2/(2g) + z_2 + h_{\text{totais}} \quad (9)$$

A perda de pressão total que se regista na linha de tubagem e acessórios, deve ser compensada pelas características de funcionamento da bomba a usar de modo a ser mantido o caudal de circulação.

O risco de existir cavitação está ligado aos pontos do domínio que registam menores pressões, a ponto de poderem formar-se localmente bolhas de vapor ou de gases normalmente dissolvidos no líquido, que impedem a circulação do caudal de líquido. Para assegurar que tal situação não aconteça, deve-se assegurar que, na zona crítica (no caso vertente, a vizinhança imediata do rotor, do lado da aspiração), a pressão absoluta se mantém sempre superior à correspondente pressão de vapor, nas condições de temperatura.

A altura de carga é representada pela margem de carga na aspiração e é representada por NPSH (Net Positive Suction Head), em que o NPSH_b necessário é definido pelo construtor e o correspondente ao valor indicado no catálogo através das características da bomba. O projetista deve calcular para a instalação a usar, na admissão da bomba centrífuga, o valor NPSH_i da instalação.

Para se evitar os danos eventuais causados pela cavitação, ou seja, ruído, vibração, redução da eficiência e danos nas pás do rotor, deve ser garantida que a pressão local em todo o interior da bomba seja superior à pressão de vapor. NPSH_i pode ser determinado por

$$\text{NPSH}_i = (p_b - p_v)/(\rho g) - (z_1 + h_T) \quad (10)$$

em que p_b representa a pressão atmosférica (Pa), p_v a pressão de vapor à entrada da bomba (Pa), z_1 a altura da bomba (m), ou seja, desnível entre a superfície livre de

água e a aspiração da bomba e h_T a perda na tubagem e acessórios na aspiração (m).

Se $NPSH_b < NPSH_i$ não há condições para se registar cavitação.

A seleção de uma bomba para uma instalação é baseada, salvo melhor opinião, pelas características do fabricante, ou seja, caudal do fluido a transportar; perdas de carga (tubos e acessórios); desnível geométrico que a bomba deve vencer; curva característica da instalação; escolha da bomba função das características do fabricante; escolha da bomba que tenha no seu ponto de rendimento máximo, um caudal de escoamento e uma perda de carga próximas dos resultados obtidos no projeto.

Observação de imagens

Zona ribeirinha de Águeda

A inundação na zona ribeirinhas do concelho de Águeda (fot, 1), é uma questão problemática que se repete a cada ano com invasão das águas para a zona habitacional e comércio, fazendo muitas vezes a interdição das vias de comunicação por terra. A subida das águas do rio Águeda é algo esperado a cada ano. A responsabilidade deste quadro anormal, ou quiçá normal, é das chuvas intensas e persistentes.



Fot. 1 - Zona ribeirinha de Águeda na ponte. / **Photo 1** - Agueda riverside area near the bridge.

(Fonte/Source: <https://www.jb.pt/2021/02/inundacoes-nas-zonas-ribeirinhas-do-concelho-de-agueda-com-fotos/>)

As zonas consideradas mais baixas face à coluna de água que se forma são as problemáticas. Se o tempo atmosférico é responsável por inundações atípicas também o é face à melhoria das condições. A descida gradual da coluna de água converge para a abertura da circulação rodoviária de modo que a vida volte ao normal.

Zona envolvente do baixo-Vouga (e.g. Sernada do Vouga, São João de Loure, Angeja e Autoestrada A25 junto ao nó 6)

Mostramos o estado do tempo atmosférico na A25 (fot.2).



Fot. 2 - Autoestrada A25. / *Photo 2 - Motorway A25.*

(Fonte/Source: <https://www.jn.pt/local/noticias/aveiro/aveiro/a25-cortada-em-aveiro-devido-a-agua-na-autoestrada-11641222.html>).

Uma notícia de 20 dezembro 2019 informava que A25 reabriu ao trânsito na zona de Albergaria-a-Velha. Na prática a circulação na A25 tinha sido cortada, devido à existência de água na via rodoviária, nos dois sentidos, entre o do estádio municipal de Aveiro e o nó de Angeja perto de Albergaria-a-Velha. O corte à circulação rodoviária deveu-se à existência de um lençol de água na A25.

As águas do rio Vouga galgaram as margens do rio Vouga (em diferentes zonas como por exemplo S. João de Loure e Angeja) e a subida das águas assim como a inundação de campos agrícolas ultrapassou a cota de segurança para a circulação rodoviária.

Esta situação jamais poderia ocorrer pois as vias rodoviárias rápidas devem estar, sempre, acima da linha de segurança de inundações. O corte da passagem de viaturas no nó do estádio municipal foi impróprio pois os automobilistas ao serem obrigados a entrarem na A17 foram indiciados a stress pois o trânsito estava bloqueado. A saída para a rotunda que faz a via rodoviária entre Aveiro e Oíã estava quase bloqueada o que fez o trânsito não fluir em algumas horas. Um dos autores vivenciou esta problemática e questiona-se porque a segurança não estava antes localizada no nó entre a via rodoviária Aveiro – Cacia para a A25? Entrar na A25 foi entrar num labirinto sem solução imediata. A alternativa demorada passou por usar, depois da saída da A17, a via rodoviária Aveiro – Oíã e entrar na A1 para sair em Albergaria-a-Velha.

Uma outra notícia faz referência que o mau tempo trouxe cheias e inundações ao Concelho de Albergaria-a-Velha (<https://www.terranova.pt/noticia/sociedade/mau-tempo-trouxe-cheias-e-inundacoes-ao-concelho-de-albergaria-velha>) tendo os rios Vouga e Caima inundado margens de campos agrícolas e zonas urbanas.

Na zona da Sernada-do-Vouga, ao longo de anos, está bem vincada a ação da força de corte da água do rio Vouga em inundações. A jusante da ponte de Sernada (que serve a via ferroviária e a via rodoviária) tirar toneladas de areia fez o leito ficar descaracterizado e as grandes covas para a retirada de areia, para diferentes aplicações, foram preenchidas pela retirada de areia da margem esquerda do rio Vouga a montante da ponte. Terras de lavradio desapareceram e o leito do rio foi deslocado para a margem esquerda. Esta situação tem a ver com a ação da força de corte devido a um regime turbulento que cavou toda a margem esquerda de terras de cultivo. As linhas de corrente de acordo com a expressão (4) ou (5) aumentaram a força de arrastamento de detritos.

Os pilares da ponte tiveram de ser defendidos, mais tarde, através de duas condições: um dique a jusante foi construído com enormes pedras para segurar a coluna de água e minimizar a energia cinética que condiciona a tensão de corte e, construção de base em betão armado nos pilares da ponte. Na reparação dos pilares da ponte houve o cuidado de na altura normal da coluna de água a parede ser em forma de cunha segundo a linha longitudinal do rio. Esta situação fez reduzir abruptamente o efeito da anulação da energia cinética em energia de pressão, como se interpreta de não se tornar $p + (1/2)\rho v^2$ é conhecida como pressão de estagnação.

Zona envolvente da cidade de Luanda - Angola

Uma notícia de 16 de março de 2021, mostou inundações em Luanda (fot. 3), em que informou que condições anómalas de tempo atmosférico que gerou precipitação intensa e causou grandes dificuldades ao trânsito e população em geral.

As chuvas torrenciais causaram inundações, quedas de árvores, desabamentos de casas e obrigou ao corte de várias vias de comunicação rodoviárias.

É também reportado que as grandes massas de água em movimento deslocaram detritos e lama dificultando a circulação de moradores (<https://novojornal.co.ao/sociedade/interior/chuvalixo-aguaceiros-param-luanda-e-anunciam-catastrofe-101867.html> e <https://guardiao-ao.com/2021/04/19/video-inundacoes-e-charcos-em-muitas-zonas-de-luanda/>). A imagem do lado direito da fot. 3 mostra um exemplo da dificuldade de movimentação de transeuntes.



Fot. 3 – Inundações em Luanda. / **Photo 3** – Floods in Luanda.

(Fonte/Source: <https://www.publico.pt/2021/03/16/mundo/noticia/morte-duas-criancas-desaparecidas-inundacoes-luanda-1954670>).

Zona envolvente da cidade Dili – Timor-Leste

É mostrado inequivocamente o exemplo nefasto que os fundamentos teóricos apresentam para a interpretação física do fenómeno ocorrido (fot. 4), ou seja, chuvas torrenciais que originaram inundações com uma coluna de água acima da média e com escoamento de água com elevada energia cinética, no dia 4 de abril de 2021.

As imagens da fot. 4, na sua globalidade, mostram a ação da intensidade da força de corte e como em bloqueio das linhas de corrente uma alta energia cinética faz aumentar abruptamente a energia de pressão que provoca estragos. Observa-se o cavar de uma zona onde uma habitação teve graves problemas de equilíbrio. O planeamento urbano deve considerar sempre os vários tipos de escoamento da água e potenciar zonas de desastre colocando barreias protetoras que encaminhem as linhas de corrente pelos obstáculos não gerando os chamados turbilhões que podem cavar alicerces ou barreiras.

Um balanço total dos estragos (<https://tv24.iol.pt/videos/internacional/as-imagens-que-chegam-das-cheias-em-dili/606982c10cf280db4101a31e> e <https://expresso.pt/internacional/2021-04-04-Timor.-Inundacoes-em-Dili-provocam-pelo-menos-11-mortos-a02728b3>) mostrou que se registaram danos avultados em casas privadas, estabelecimentos comerciais, várias infraestruturas de edifícios incluindo estradas e pontes.



Fot 4 – Inundações em Dili. / **Photo. 4** – Floods in Dili.

(Fonte: <https://tv24.iol.pt/videos/internacional/as-imagens-que-chegam-das-cheias-em-dili/606982c10cf280db4101a31e>).

Uma melhoria do tempo atmosférico associado à presença de maré baixa permitiu que grandes massas de água que atingiram cerca de 2m coluna de água escoassem em direção ao mar. No entanto muita da população foi obrigada a abandonar as suas residências. A Avenida Portugal, como mostra uma imagem da fot. 4 foi afetada devido ao pavimento ter abatido o que indicia uma energia cinética significativa que suscitou alta tensão de corte e pressão de estagnação.

Considerações finais

Os fundamentos teóricos apresentados são o alicerce para a interpretação física dos fenómenos observados através de diferentes imagens.

São consideradas imagens que mostram o colapso do equilíbrio sustentável de zonas urbanas e rurais, do impacto em pavimentos de estradas, habitações com derrocada, altura de coluna de água acima de níveis de segurança, planeamento de locais de residência em que as vias de escoamento deveriam ser investigadas e interpretadas através de medidores de caudal, conhecimento da energia cinética das linhas de corrente da água de modo a proteger zonas com barreiras que reduzam o cavar em profundidade e a energia de pressão em pontos de estagnação e outras situações.

A apresentação do uso de bombas centrífugas e sua aplicação pode permitir aliviar a coluna de água em zonas habitadas.

Em conclusão final poder-se-á afirmar que este trabalho, no geral, alerta para diferentes cenários que suscitam risco de catástrofe.

Agradecimentos

Um dos autores agradece este trabalho financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto UIDB/00194/2020.

Bibliografia

- Eskinazi, S. (1975). *Fluid Mechanics and Thermodynamics of our environment*. Academic Press Inc, New York.
- Kay, J. M. and Nedderman, R. M. (2013). *An Introduction to Fluid Mechanics and Heat Transfer: With Applications in Chemical & Mechanical Process Engineering*. Cambridge University Press
- Massey, B. S. (2002). *Mecânica dos Fluidos*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Oliveira, L.A. & Lopes, A. G. (2007). *Mecânica de Fluidos*. Edições Técnicas e Profissionais, Livrimpor, Lisboa
- Santos, A.J. (2017). *Bombas e Instalações Hidráulicas. Engebook Conteúdos de Engenharia e Gestão*. Publindústria, Edições Técnicas, Porto.
- White, F.W. (1983). *Mecânica de Fluidos*, McGraw-Hill, Madrid.

SÉRIE ESTUDOS CINDÍNICOS

Títulos Publicados:

- 1 *Incêndios em Estruturas. Aprender com o Passado;*
- 2 *Educação para a Redução dos Riscos;*
- 3 *Metodologia de Análise de Riscos através de Estudos de Casos;*
- 4 *Riscos Hidrometeorológicos;*
- 5 *Pluralidade na Diversidade de Riscos;*
- 6 *Risco Sísmico - Aprender com o Passado;*
- 7 *Territórios em Risco;*
- 8 *Resiliência ao Risco;*
- 9 *Madeira Região Resiliente - Aprender com o Passado;*
- 10 *Risco de Cheias e Risco de Inundações Fluviais - Aprender com o Passado.*

Tomos em preparação:

- 11 *Ciência e Redução do Risco;*
- 12 *Geografia dos Incêndios Florestais. 50 anos de Incêndios a queimar Portugal;*
- 13 *Efeitos dos Incêndios Florestais nos Solos de Portugal.*
- 14 *Floresta, Incêndios e Educação;*
- 15 *Redução do Risco e Educação.*



Luciano Lourenço é doutorado em Geografia Física, pela Universidade de Coimbra, onde foi Professor Catedrático, encontrando-se atualmente na situação de jubilação.

É Diretor do NICIF - Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra e Presidente da Assembleia Geral da RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança.

Exerceu funções de Diretor-Geral da Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais, Presidente do Conselho Geral da Escola Nacional de Bombeiros e Presidente da Direção da Escola Nacional de Bombeiros.

Consultor científico de vários organismos e de diversas revistas científicas, nacionais e estrangeiras, coordenou diversos projetos de investigação científica, nacionais e internacionais, e publicou mais de mais de três centenas de títulos, entre livros e capítulos de livro, artigos em revistas e atas de colóquios, nacionais e internacionais.



Adélia Nunes é Professora Associada, com Agregação em Geografia, na Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, onde exerce funções de docência e investigação.

Diretora do Departamento de Geografia e Turismo, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, membro integrado do Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT), da RISCOS (Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança) e do NICIF (Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais).

Ingressou na carreira docente universitária em 1999. Em 2001 concluiu o Mestrado em Geografia Física e em 2007 o Doutoramento em Geografia.

Dinâmica da paisagem, riscos naturais e mistos e gestão de recursos naturais são as principais áreas de investigação, tendo publicado várias dezenas de trabalhos, onde se incluem capítulos de livros e artigos em revistas de especialidade. Desde 2008 colabora no Mestrado em Ensino de Geografia e em 2017 assumiu a Coordenação do Mestrado em Geografia Física, Ambiente e Ordenamento do Território.



RISCOS

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA
DE RISCOS, PREVENÇÃO
E SEGURANÇA



estudos
CINDÍNICOS