

# ÁGUA E TERRITÓRIO

UM TRIBUTO A  
CATARINA RAMOS

# CHEIAS E INUNDAÇÕES URBANAS: TIPOS, CARACTERÍSTICAS E DANOS MATERIAIS

Miguel Leal<sup>1</sup>

## Resumo

Os diversos tipos de inundações podem distinguir-se pelos seus factores desencadeantes, processos hidrológicos, características hidrodinâmicas, extensão espacial e temporal e capacidade destruidora. Se as cheias progressivas e cheias rápidas são termos actualmente estabilizados cientificamente, o mesmo não sucede com as inundações urbanas. Actualmente assiste-se a uma multiplicidade de conceitos associados a este tipo de inundações, não permitindo uma correcta classificação das ocorrências. Neste artigo apresentam-se os conceitos e o enquadramento das cheias progressivas e rápidas, discutem-se as questões teóricas e metodológicas relativas às inundações urbanas e propõem-se os termos FREN (inundações relacionadas com a antiga rede de drenagem natural) e FUNN (inundações não relacionadas com a actual ou antiga rede de drenagem natural). Os danos materiais reportados às seguradoras no município de Lisboa no período 2000-2011 apontaram as FUNN como o tipo de inundação mais frequente (53% dos sinistros). Por outro lado, foram as FREN que geraram maiores consequências (58% das indemnizações). Os resultados obtidos demonstram a importância do relevo e das antigas linhas de água nos danos materiais resultantes de inundações.

**Palavras-chave:** cheias rápidas; inundações urbanas; FREN; FUNN; danos materiais; seguros; Lisboa

## 1. Introdução

A Directiva 2007/60/CE, transposta para a realidade portuguesa pelo Decreto-Lei nº 115/2010, define inundação (*flooding*) como a “cobertura temporária por água de uma terra normalmente não coberta por água”. Esta é uma forma simples de explicar o que é uma inundação, embora aborde apenas o processo do ponto de vista do resultado/consequência. Pode dizer-se que uma inundação ocorre quando uma rede de drenagem recebe mais água do que a que consegue suportar (NRC, 2005).

A introdução do excesso de água num sistema natural ou mais ou menos artificializado pode dever-se a causas muito distintas: chuva de curta duração, mas intensa; chuvas

---

<sup>1</sup> Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, ULisboa.  
mleal@campus.ul.pt

prolongadas; fusão rápida da neve ou do gelo; ruptura de barragens ou de diques; obstáculos ao escoamento; subida da toalha freática; *storm surge*; *tsunamis*; movimentos de vertente; ou rupturas de condutas na via pública (Pilgrim e Cordery, 1993; Ramos, 2009). Note-se que as inundações podem ser desencadeadas por uma ou mais das causas referidas, por exemplo quando se verifica o efeito combinado da chuva e da maré alta.

Devido às características físicas e antrópicas dos territórios e aos diversos factores que podem estar na génese das inundações, estas podem ser de diferentes tipos: cheias ou inundações fluviais (*floods*), inundações resultantes da subida da toalha freática (*groundwater flooding*), inundações costeiras (*coastal flooding*) e inundações urbanas (*urban flooding*).

Este trabalho pretende, numa primeira fase, discutir os conceitos ligados às cheias e inundações urbanas e compreender de que forma os diferentes tipos de inundações se distinguem quanto aos factores desencadeantes, processos hidrológicos, características hidrodinâmicas, extensão espacial e temporal e capacidade destruidora. Face ao crescimento das áreas impermeabilizadas, à canalização subterrânea de muitos cursos de água e ao aumento da população a residir nas cidades, importa dar uma atenção especial às inundações urbanas. No entanto, existem dificuldades em associar as ocorrências aos vários tipos de inundações urbanas referidos na bibliografia. Como tal, propõe-se a utilização dos termos FREN (inundações relacionadas com a antiga rede de drenagem natural) e FUNN (inundações não relacionadas com a actual ou antiga rede de drenagem natural). Neste âmbito são analisados os danos materiais fornecidos pelas companhias de seguros para Lisboa no período 2000-2011 em função da localização dos sinistros face à antiga rede de drenagem da cidade, actualmente canalizada subterraneamente quase por completo. Através destes dados pretende-se comprovar se as características físicas dos territórios continuam a ser relevantes nas consequências causadas por estes fenómenos.

## **2. Cheias progressivas e cheias rápidas**

As cheias podem ser definidas como fenómenos hidrológicos extremos, de frequência variável, naturais ou induzidos pela acção humana, e que consistem no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundação dos terrenos ribeirinhos (leito de cheia) (Chow, 1956). Ainda que seja algo que gere alguma discussão no meio académico, as cheias pressupõem sempre a inundação das margens de um curso de água, independentemente da sua importância ou dimensão. Logo, pode dizer-se que todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações são causadas por cheias (Ramos, 2009). Em função das características da precipitação desencadeante e das bacias hidrográficas onde ocorrem, as cheias podem ser subdivididas em cheias progressivas e cheias rápidas.

As cheias progressivas ou lentas (*slow floods*, *slow-rising floods* ou *slow-onset floods*) ocorrem sobretudo nos rios com grandes bacias hidrográficas e são desencadeadas por

períodos de precipitação que se prolongam durante semanas a meses ou pela fusão da neve. Em Portugal, a manutenção deste tipo de situação meteorológica está relacionada com a permanência da circulação zonal de Oeste, em que se verifica a passagem de sucessivas depressões sub-polares e de sistemas frontais associados (Ramos e Reis, 2001). Para que os rios entrem em situação de cheia, é necessário que estes longos períodos chuvosos provoquem a saturação progressiva dos solos e o enchimento gradual das albufeiras das barragens (quando existem) (Ramos, 2005). O facto de demorarem muito tempo a formarem-se permite o alerta e a evacuação atempada das populações afectadas, o que torna as cheias progressivas em fenómenos naturais pouco perigosos, cuja probabilidade de causar vítimas mortais é diminuta, sobretudo em países desenvolvidos. A capacidade de encaixe do escoamento por parte das barragens e a correcta gestão das suas descargas é também fundamental para evitar ou minimizar os impactes das cheias.

No caso das cheias rápidas (*flash floods*) existem várias definições, podendo ser mais ou menos complexas. Trata-se de cheias que atingem elevados caudais de ponta, geradas por tempestades severas e que, normalmente, se restringem a uma área limitada (IAHS, 1974). Segundo o glossário de meteorologia da *American Meteorological Society* (AMS), as cheias rápidas são causadas pela rápida subida do nível da água dos cursos de água, geralmente em resultado de precipitações intensas em pequenas áreas, ou de precipitações moderadas a intensas em superfícies muito saturadas ou impermeáveis (AMS, 2000). Para além da precipitação, de acordo com a NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), as cheias rápidas também podem resultar de rupturas de barragens ou diques ou de uma libertação repentina da água anteriormente aprisionada pela acumulação de gelo.

Tempo e espaço são dimensões interligadas e fundamentais no âmbito das cheias rápidas. É frequente encontrar a referência a poucas horas entre a precipitação desencadeante e a ocorrência da cheia como limiar máximo para este tipo de inundações (Marchi *et al.*, 2010; Llasat *et al.*, 2016), mas as durações específicas de 6 horas (Barredo, 2007; Borga *et al.*, 2014; Llasat *et al.*, 2016) ou de 12 horas também são mencionadas (Georgakakos, 1986; Gaume *et al.*, 2009). Importa referir que estes valores são apenas empíricos, podendo ser adequados para um determinado local e não o serem para outro (Kobiyama e Goerl, 2007). Logo, utilizar um limiar máximo de tempo como critério de separação entre cheias rápidas e cheias progressivas pode não ser a melhor solução. Por outro lado, a maioria dos autores aponta as bacias hidrográficas com áreas inferiores a 1000 km<sup>2</sup> como aquelas em que podem ocorrer cheias rápidas (Barrera *et al.*, 2006; Marchi *et al.*, 2010; Borga *et al.*, 2014; Ruiz-Bellet *et al.*, 2015; Llasat *et al.*, 2016).

As cheias rápidas são um dos fenómenos mais perigosos e destruidores a nível mundial (Gaume e Borga, 2008; Gaume *et al.*, 2009; Marchi *et al.*, 2010), tendo uma importância muito acentuada na região do Mediterrâneo (Barnolas e Llasat, 2007; Barredo, 2007; Gaume *et al.*, 2009; Diakakis e Deligiannakis, 2017; Pereira *et al.*, 2017). Tal como noutros

países mediterrânicos (Jansá *et al.*, 2001; Llasat *et al.*, 2005; Barrera *et al.*, 2006; Barriandos e Rodrigo, 2006; Marchi *et al.*, 2010; Diakakis, 2014), em Portugal este tipo de inundações ocorre, sobretudo, no Outono (Fragoso *et al.*, 2010; Leal, 2011, 2013; Zêzere *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2016), como consequência de depressões convectivas: gotas de ar frio ou depressões devidas à interacção entre as circulações polar e tropical (Ramos e Reis, 2001). A formação de gotas de ar frio beneficia da elevada temperatura do Oceano Atlântico depois do Verão, do enfraquecimento do anticiclone dos Açores e da intensificação da circulação meridiana (Ramos e Reis, 2001; Ruiz-Bellet *et al.*, 2015; Llasat *et al.*, 2016). No caso das depressões resultantes da interacção entre as circulações polar e tropical, estas dependem da intensidade convectiva da Convergência Intertropical (CIT) e da sua relação com as invasões de ar frio que são capazes de atingir as latitudes subtropicais (Brum Ferreira, 1985).

O perigo que as cheias rápidas representam advém dos elevados caudais atingidos, do curto tempo de resposta das bacias hidrográficas e da elevada carga sólida que os cursos de água são capazes de transportar. Acresce que estas características tornam praticamente impossível o aviso e/ou o evacuamento das populações expostas aquando da sua ocorrência.

### **3. Inundações urbanas**

Tal como nas cheias rápidas, as precipitações com elevada intensidade num curto espaço de tempo são também a causa predominante das denominadas inundações urbanas. Estas ocorrem, como o próprio nome indica, em áreas urbanas ou em áreas fortemente artificializadas. A impermeabilização dos solos/terrenos leva à diminuição da infiltração, sendo que a precipitação que anteriormente se infiltrava, transforma-se em escoamento superficial directo. Para além do aumento do volume, também a velocidade do escoamento superficial aumenta devido à menor rugosidade dos materiais utilizados em espaços construídos, o que, por sua vez, provoca reduções nos tempos de concentração e de resposta das bacias hidrográficas.

Os sistemas de drenagem artificiais existem para resolver o défice de infiltração e, conseqüentemente, para evitar as inundações (DeSilva *et al.*, 2011; Cherqui *et al.*, 2015). As complexas redes de drenagem subterrâneas existentes nas áreas urbanizadas têm como objectivo retirar a água da superfície, evitando a sua acumulação. Como tal, as águas provenientes da precipitação têm de ser “capturadas” ao longo das numerosas sarjetas existentes, de modo a que cheguem rapidamente ao sistema de drenagem artificial subterrâneo. Tal como Butler e Davies (2004) referem, nas áreas urbanas existem dois tipos de água que requerem drenagem: pluviais e residuais. Estas podem ser drenadas de forma separada ou combinada, sendo a última a opção mais comum. Refira-se igualmente que, a canalização subterrânea das ribeiras faz com que estas sejam, normalmente, integradas nesta rede artificial.

É frequente não existirem ribeiras à superfície nas cidades maiores/mais antigas, pois, durante algumas décadas optava-se por canalizar subterraneamente ou aterrar os cursos de água. Tal permitia, não só eliminar visualmente as linhas de água, que, muitas vezes, eram espaços com problemas de saúde pública devido à acumulação de lixo e à falta de tratamento das águas residuais, como também possibilitava o desaparecimento das cheias rápidas. Por outro lado, estas áreas ficavam disponíveis para construção depois destas intervenções. Actualmente, esta opção de ordenamento do território já não é utilizada, preferindo-se dar espaço à água, de modo a que possa ocupar os seus leitos naturais. Em alguns casos, tem-se mesmo procedido à renaturalização dos cursos de água.

O cenário da canalização maciça das linhas de água fez com que muitas cidades passassem a ser exclusivamente afectadas por inundações (urbanas), mais frequentes do que as cheias rápidas, embora menos destrutivas (Spekkers *et al.*, 2013a; Rudari *et al.*, 2014; Cherqui *et al.*, 2015). No fundo, substituiu-se um fenómeno natural (cheias rápidas) com maior magnitude e menor frequência, por outro (inundações urbanas) com menor magnitude e maior frequência. Apesar da maior rapidez com que as pluviais chegam aos fundos de vale e do aumento do volume do escoamento superficial, fruto da impermeabilização dos terrenos, as inundações urbanas não são tão perigosas quanto as cheias rápidas. Isto deve-se à reduzida carga sólida transportada e à captação de parte do escoamento superficial por parte do sistema de drenagem artificial. Contudo, espera-se que as inundações urbanas venham a ser ainda mais frequentes e que atinjam magnitudes mais elevadas (Falconer *et al.*, 2009; Suriya *et al.*, 2012; Huong e Pathirana, 2013; C. F. Chen e Liu, 2014; Diakakis *et al.*, 2016), tornando este tipo de inundações um problema cada vez maior (Falconer *et al.*, 2009; Diakakis, 2014; Hammond *et al.*, 2015). Por um lado, isto deve-se à canalização subterrânea dos cursos de água que atravessam as cidades, à cada vez maior expansão das superfícies impermeabilizadas e ao sub-dimensionamento das redes de águas pluviais (Smith e Ward, 1998; Jha *et al.*, 2012; Huong e Pathirana, 2013). Por outro, o número de edifícios e a população têm crescido, aumentando a exposição às inundações e causando estragos e custos associados mais elevados (Brázdil *et al.*, 2006; Barnolas e Llasat, 2007; Barredo, 2009; Marchi *et al.*, 2010; Aerts e Botzen, 2011; Jha *et al.*, 2012; Hammond *et al.*, 2015; Diakakis *et al.*, 2016). Há ainda que considerar os possíveis efeitos das alterações climáticas no aumento da frequência e magnitude das precipitações intensas (Brázdil *et al.*, 2006; Marchi *et al.*, 2010; Aerts e Botzen, 2011; de Moel e Aerts, 2011; C. F. Chen e Liu, 2014; Hammond *et al.*, 2015).

Por norma, a relação entre a precipitação e a quantidade de ocorrências causadas por inundações urbanas não é muito significativa. Não é razoável esperar uma relação mais directa entre estas variáveis, pois existem diversos factores que podem aqui interferir: 1) a qualidade e disponibilidade dos dados de precipitação e das seguradoras (Merz *et al.*, 2004; Spekkers *et al.*, 2013b); 2) a distribuição espacial e temporal da precipitação desencadeante; 3) as características geomorfológicas, litológicas e hidrológicas das áreas afectadas; 4) a extensão das áreas edificadas/impermeabilizadas; 5) a quantidade de edifícios/propriedades expostas (e com seguro); 6) a capacidade dos sistemas de

drenagem de águas pluviais para lidar com eventos de precipitação intensa; 7) as características da malha urbana; e 8) o efeito da maré e/ou das situações de *storm surge* nos sectores terminais dos cursos de água localizados em áreas costeiras ou em estuários (Archetti *et al.*, 2011; Condon e Sheng, 2012; W. B. Chen e Liu, 2014).

#### **4. Conceitos e classificações ligados às inundações urbanas**

Visto o enquadramento das inundações urbanas, é importante compreender e discutir o conceito propriamente dito, até porque este tem sido um tema de debate recorrente junto da comunidade científica. Num sentido lato, as inundações urbanas podem ser consideradas todas as inundações que ocorrem em áreas urbanas, independentemente da sua causa (Hammond *et al.*, 2015). Assim, a ocorrência de inundações pode não resultar apenas da precipitação. A sobrelevação do nível do mar, episódios de *storm surge*, marés vivas ou simples situações de preia-mar podem causar, por si só, inundações ou exacerbar os seus efeitos nos sectores terminais dos cursos de água e/ou nas áreas baixas costeiras (Oliveira e Ramos, 2002; Archetti *et al.*, 2011; W. B. Chen e Liu, 2014). Também as rupturas de condutas na via pública e a obstrução das sarjetas por ramos e folhas de árvores ou outros detritos podem provocar inundações e/ou contribuir para a sua existência (DeSilva *et al.*, 2011; Rudari *et al.*, 2014; Cherqui *et al.*, 2015).

Numa perspectiva mais restrita e mais comum, as inundações urbanas podem ser todas as situações verificadas em áreas urbanas e que tenham sido desencadeadas por eventos de precipitação intensa, originando escoamento superficial e a sobrecarga dos sistemas de drenagem (CNT, 2014; Yu e Coulthard, 2015). Recentemente emergiu o conceito de *surface water flooding* (SWF), que descreve o efeito combinado de diversas inundações/cheias: pluviais (*pluvial flooding*), dos sistemas de drenagem (*sewer flooding*), das ribeiras que ainda escoam a céu aberto, dos cursos de água canalizados subterraneamente e as provocadas pelas nascentes de águas subterrâneas (Falconer *et al.*, 2009). Deste modo, SWF é um termo ainda mais abrangente do que o de inundação urbana, uma vez que as cheias rápidas e as inundações resultantes da subida da toalha freática estão incluídas e também porque estas inundações podem ocorrer fora das cidades (Priest *et al.*, 2011). Assim, os conceitos de SWF e de inundações urbanas não podem ser considerados sinónimos.

Na realidade, continua a não existir consenso acerca deste assunto (Falconer *et al.*, 2009; Priest *et al.*, 2011; Bernet *et al.*, 2017). Existem, por exemplo, alguns estudos em que não se faz qualquer distinção entre as SWF e as inundações pluviais (Pitt, 2008; Yu e Coulthard, 2015). As últimas podem ser definidas como inundações causadas pelo escoamento superficial e conseqüente acumulação de água antes de chegarem a um curso de água ou de entrarem no sistema de drenagem de águas pluviais (Falconer *et al.*, 2009; Jha *et al.*, 2012; Sperotto *et al.*, 2015). Podem igualmente acontecer quando um determinado volume de água não consegue entrar no sistema de drenagem artificial porque a rede já

tinha atingido a sua capacidade máxima de vazão (Falconer *et al.*, 2009; Jha *et al.*, 2012; Sperotto *et al.*, 2015). Este tipo de inundação é, normalmente, o primeiro a acontecer como resultado de uma precipitação intensa num curto espaço de tempo (Priest *et al.*, 2011), não sendo de descartar a sua ocorrência em episódios de precipitação menos intensa (Aronica e Lanza, 2005; Parker *et al.*, 2011; Bhattarai *et al.*, 2016). As inundações pluviais acontecem: 1) em áreas potencialmente favorecedoras de acumulação de escoamento superficial (áreas planas e/ou baixas e depressões naturais); 2) onde existem situações de bloqueio do escoamento (naturais ou induzidas pela acção humana); e 3) ao longo das ruas (Parker *et al.*, 2011; Jha *et al.*, 2012; Rudari *et al.*, 2014).

As inundações provenientes dos sistemas de drenagem são outro dos subtipos de SWF e são provocadas pela sobrecarga hidráulica dos sistemas de drenagem quando a sua capacidade de vazão é excedida em resultado de precipitações intensas (Butler e Davies, 2004; Parker *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2012). Como já foi referido, a expansão das áreas urbanizadas conduz ao aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, mas essa expansão urbana exige também o aumento do número de ligações residenciais ao sistema de águas pluviais e residuais. Existe, por isso, uma maior área e uma maior quantidade de água para ser drenada. Assim, a rede de drenagem artificial pode tornar-se desadequada e ineficaz quando a capacidade para a qual foi projectada é excedida durante um evento de precipitação (Aronica e Lanza, 2005; Hurford *et al.*, 2012; Jha *et al.*, 2012; Chang *et al.*, 2015; Yu e Coulthard, 2015). Nesses casos, é frequente ver as tampas do sistema de águas pluviais saltarem devido à elevada pressão exercida pela água que circula dentro das condutas (Figura 1A).

Tendo em conta a falta de consenso existente quanto à extensão das SWF e a quantidade de subtipos/categorias que delas fazem parte, não é prudente englobá-las no mesmo grupo, especialmente porque têm condições desencadeantes e consequências distintas (Jha *et al.*, 2012). Os conceitos atrás mencionados (inundações pluviais, provenientes dos sistemas de drenagem, etc.) não serão aqui utilizados devido às razões seguintes: 1) a informação disponível para cada ocorrência/sinistro não tem detalhe suficiente para determinar se foi causado por uma inundação pluvial ou por outro tipo de SWF; 2) regra geral, não existe distinção entre as inundações causadas pelos sistemas de drenagem artificiais e pelos cursos de água canalizados subterraneamente porque a rede de drenagem de águas pluviais está maioritariamente ligada aos cursos de água canalizados; e 3) apesar da existência de uma malha urbana mais ou menos complexa, o relevo e os antigos leitos de cheia continuam a ser os factores cruciais no actual comportamento do escoamento superficial (Oliveira e Ramos, 2002; Diakakis *et al.*, 2016). Assim, determinar qual dos tipos de inundação referidos foi responsável por uma ocorrência/sinistro é, na maioria dos casos, uma tarefa demasiado propensa a erros, dado que pode ter sido desencadeado por mais do que um tipo de inundação. Considerando todas estas condicionantes e incertezas é comum não se associar as ocorrências/sinistros a nenhum tipo de inundação ou optar-se por uma separação simples entre cheias (fluviais) e inundações urbanas/SWF (exemplo: Bernet *et al.*, 2017).

Deste modo, propõe-se uma classificação baseada nas características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas do território, em que foram consideradas as inundações relacionadas com a antiga rede de drenagem natural (FREN – acrónimo do inglês ***F**looding **R**elated to the ancient **N**atural drainage network*) e as inundações não relacionadas com a actual ou antiga rede de drenagem natural (FUNN – acrónimo do inglês ***F**looding **U**Nrelated to the present or ancient **N**atural drainage network*).

As FREN ocorrem em fundos de vale onde existem (através de colectores) ou existiam cursos de água, quer estejam canalizados subterraneamente ou enterrados. Podem também ocorrer nos antigos percursos dos cursos de água sendo que, até certo ponto, as FREN correspondem às cheias rápidas que ocorriam nas pequenas ribeiras antes de serem canalizadas subterraneamente. Considerando a já abordada relevância do relevo e do declive nas inundações, mesmo em áreas densamente construídas, observa-se que, quando decorre um evento de precipitação intensa, o escoamento superficial se dirige para as ruas coincidentes com as antigas linhas de água. Nessas situações, as ruas edificadas sobre os cursos de água comportam-se como autênticas ribeiras. As FREN podem gerar um escoamento superficial com elevada velocidade e/ou turbulência em ruas com declive mais acentuado (Figura 1B); ou de reduzida velocidade e/ou turbulência em áreas com pouco ou nenhum declive, normalmente nos sectores terminais das bacias hidrográficas (Figura 1C). Em alguns casos podem ocorrer FREN em fundos de vale em que cursos de água estão à superfície, contudo, a inundação não   causada pelo transbordo da linha de água, mas sim pela concentra o e acumula o do escoamento superficial proveniente das ruas localizadas nas vertentes. Essas situa oes sucedem quando não se verifica uma precipita o suficientemente intensa para que ocorra uma cheia rápida, mas que seja suficiente para originar uma inunda o urbana ao longo do fundo de vale, embora num nível superior ao do leito normal do curso de  gua.

A delimita o da área inundável/de influência das FREN pode ser realizada através: 1) da modela o hidráulica (escala local); 2) da espacializa o das áreas planas, ou com declives muito reduzidos, adjacentes às linhas de água; ou 3) da área ocupada pelas aluviões e, quando estas não estão representadas no mapa geológico, da distância entre os edifícios de ambos os lados de um dado arruamento. Refira-se que, em áreas densamente urbanizadas, os arruamentos afectados por FREN, por norma, são construídos com a mesma orienta o das linhas de  gua.

Todas as inunda oes que não estão relacionadas com a rede de drenagem natural são designadas como FUNN, o que significa que os cursos de água não têm influência na sua ocorrência. Este tipo de inunda o acontece nos locais em que existe acumula o de água (depressões naturais ou artificiais) ou existem dificuldades de escoamento superficial devido ao fraco declive ( reas planas e/ou baixas) ou a situa oes de bloqueio (naturais ou induzidas pela ac o humana) (Figura 1D). Tendo em conta que a malha urbana pode ser bastante complexa nas áreas urbanas, que a sua disposi o pode conduzir ao bloqueio do escoamento com alguma frequência e que, por vezes, basta a obstru o das sarjetas

quando de um episódio de precipitação intensa para se gerar uma inundação, pode concluir-se que as FUNN podem ocorrer praticamente em qualquer local. Recorde-se, contudo, que estas só podem ser classificadas como FUNN quando ocorrem em locais em que não existe influência das antigas linhas de água. Tipicamente, não são capazes de atingir velocidades de escoamento superficial tão elevadas como as FREN e, por isso, o seu potencial destruidor é também menor.



Figura 1. Fotografias referentes a situações causadas por FREN (A, B, C) e por FUNN (D) em Lisboa. (A) rua Dom Duarte, junto ao Martim Moniz, 22/09/2014, *frame* de vídeo publicado no YouTube por Sara Vitorino; (B) rua de São José, 22/09/2014, foto de Sara Matos publicada no *site* do jornal Observador; (C) largo de São Domingos e rua das Portas de Santo Antão, 29/10/2010, fonte: Correio da Manhã; (D) rua de Xabregas, 29/10/2010, foto publicada no *site* do jornal Correio da Manhã.

## **5. Danos materiais causados por inundações urbanas no município de Lisboa (2000-2011)**

Tendo em conta o seu contexto geográfico e uso/ocupação do solo, o município de Lisboa é frequentemente afectado por inundações urbanas. Note-se que, todos os cursos de água que percorrem o concelho de Lisboa foram canalizados subterraneamente ou enterrados ao longo do século XX, com excepção de pequenos sectores de montante.

Através dos dados cedidos pela Associação Portuguesa de Seguradores (APS), foi possível estimar os danos materiais resultantes de eventos de precipitação neste concelho entre Janeiro de 2000 e Outubro de 2011. Integram esta base de dados cerca de 60% do universo total de apólices de seguros. No período considerado foram registados 1169 sinistros em Lisboa, ou seja 14 sinistros/km<sup>2</sup>. Daqui resultaram 4.923.527 € em indemnizações pagas pelas companhias de seguros (57.963 €/km<sup>2</sup>), o que significa que, em média, em cada sinistro ocorrido foi pago um valor de 4212 €. Todavia, só 55% dos registos que compõem a base de dados da APS possui informação relativa à localização exacta, não permitindo associar os tipos de inundação a todos os sinistros. Assim, os sinistros com localização precisa foram 652 e as indemnizações resultantes atingiram 2.266.083 €.

Como esperado, as FREN e as FUNN possuem comportamentos distintos no que concerne aos danos materiais no município de Lisboa. As FUNN apresentaram um maior número de sinistros (53% do total), facto que é compreensível considerando que tem uma maior área potencialmente afectável. Por outro lado, as FREN, que só ocorrem ao longo dos antigos fundos de vale da cidade, foram capazes de gerar indemnizações mais elevadas (58% do total). Estas circunstâncias reflectem-se nos valores ponderados das indemnizações, já que as FREN totalizaram 4313 € por sinistro, enquanto as FUNN alcançaram apenas 2735 € por sinistro. Confirma-se, assim, que o relevo e os antigos cursos de água continuam a ser determinantes nas consequências das inundações urbanas, dado que os danos materiais mais relevantes ocorrem, de uma forma genérica, nos mesmos locais em que ocorriam as cheias (antes da canalização subterrânea das linhas de água). A distribuição espacial dos sinistros causados por FREN e FUNN está patente na Figura 2.

## **6. Conclusões**

Os conceitos ligados aos fenómenos naturais e a respectiva abrangência nem sempre são claros, algo que redundava, muitas vezes, em dificuldades na sua aplicação. No que diz respeito às cheias progressivas e cheias rápidas, este problema não ocorre, pois são conceitos já consolidados cientificamente, algo que não ocorre no universo das inundações urbanas. Estas podem ser consideradas todas as inundações que ocorrem em áreas urbanas, porém, esta perspectiva inclui cheias rápidas, inundações costeiras, inundações pluviais, etc.. Esta visão generalista não distingue nem os processos

hidrológicos nem os factores desencadeantes, e como tal, não reflecte a capacidade destruidora de cada um dos subtipos de inundações incluídos no conceito de inundação urbana. Há que ter também em conta que as fontes de informação das bases de dados que contêm ocorrências nem sempre tornam possível associar uma determinada ocorrência a um subtipo de inundação e, por isso, é comum recorrer-se simplesmente ao termo inundação urbana.

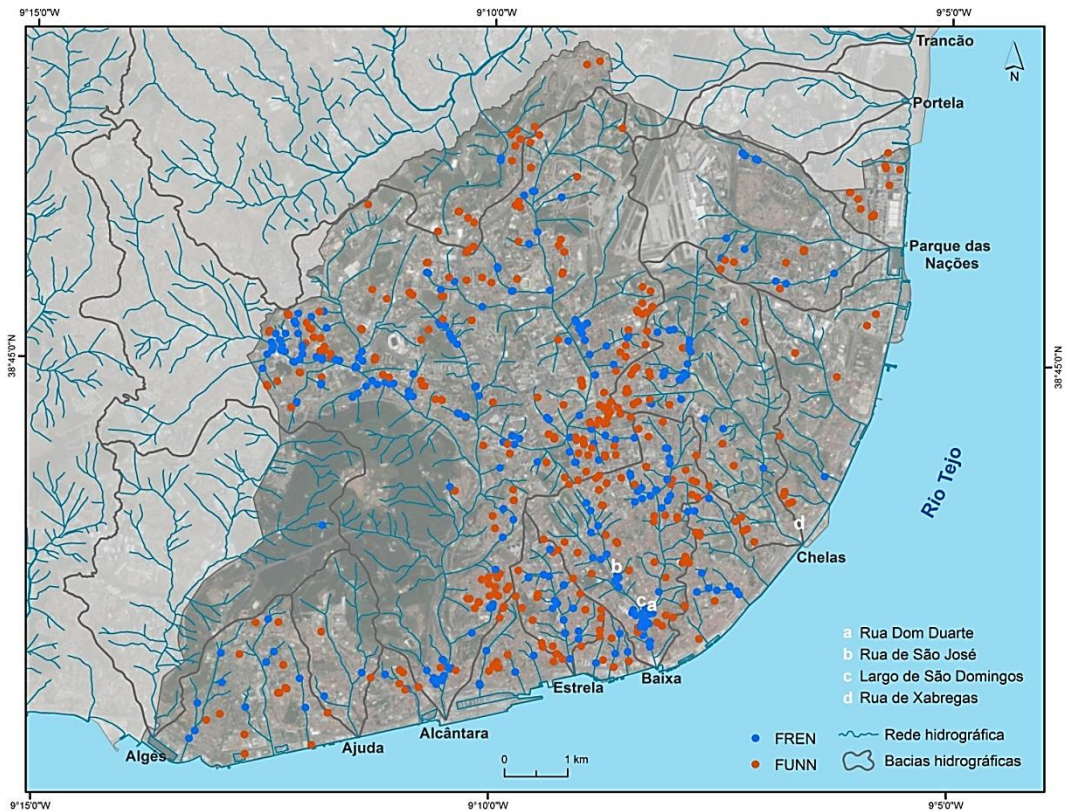


Figura 2. Distribuição espacial dos sinistros causados por FREN e FUNN no município de Lisboa (2000-2011).

Devido às questões referidas, este artigo propõe as designações de FREN e FUNN, numa classificação baseada nas características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas do território. Esta classificação permite quais as ocorrências desencadeadas por FREN e por FUNN, em função da sua localização e da presença/ausência da rede de drenagem. Confirma-se que o relevo, os declives e os antigos fundos de vale e linhas de água continuam a ser factores essenciais no comportamento do escoamento superficial nas áreas edificadas e nos danos materiais aquando da ocorrência de precipitações intensas. Os resultados obtidos com recurso aos dados das seguradoras para o município de Lisboa

permitem concluir que as FUNN geraram um maior número de sinistros, contudo, os danos materiais foram mais elevados nos locais afectados pelas FREN, confirmando-se o seu maior potencial destruidor.

## Notas e agradecimentos

Este artigo constitui uma parte da dissertação de Doutoramento do autor.

Agradece-se à Associação Portuguesa de Seguradores (APS) e ao projecto CIRAC (Cartas de Inundações e de Risco em Cenários de Alterações Climáticas) pela disponibilização dos dados referentes aos danos materiais. O autor foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através da bolsa de Doutoramento com referência SFRH/BD/96632/2013.

## Bibliografia

Aerts, J.C.J.H., Botzen, W.J.W., 2011. Climate change impacts on pricing long-term flood insurance: A comprehensive study for the Netherlands. *Glob. Environ. Chang.* 21, 1045–1060. doi:10.1016/j.gloenvcha.2011.04.005

AMS, 2000. *Glossary of Meteorology*. Second edition, American Meteorological Society.

Archetti, R., Bolognesi, A., Casadio, A., Maglionico, M., 2011. Development of flood probability charts for urban drainage network in coastal areas through a simplified joint assessment approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 3115–3122. doi:10.5194/hess-15-3115-2011

Aronica, G.T., Lanza, L.G., 2005. Drainage efficiency in urban areas: A case study. *Hydrol. Process.* 19, 1105–1119. doi:10.1002/hyp.5648

Barnolas, M., Llasat, M.C., 2007. A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 7, 271–281. doi:10.5194/nhess-7-271-2007

Barredo, J.I., 2007. Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Nat. Hazards* 42, 125–148. doi:10.1007/s11069-006-9065-2

Barredo, J.I., 2009. Normalised flood losses in Europe: 1970–2006. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 97–104. doi:10.5194/nhess-9-97-2009

Barrera, A., Llasat, M.C., Barriendos, M., 2006. Estimation of extreme flash flood evolution in Barcelona County from 1351 to 2005. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 6, 505–518. doi:10.5194/nhess-6-505-2006

Barriendos, M., Rodrigo, F.S., 2006. Study of historical flood events on Spanish rivers using documentary data. *Hydrol. Sci. J.* 51, 765–783. doi:10.1623/hysj.51.5.765

Bernet, D.B., Prasuhn, V., Weingartner, R., 2017. Surface water floods in Switzerland: What insurance claim records tell us about the damage in space and time. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 17, 1659–1682. doi:10.5194/nhess-17-1659-2017

- Bhattacharai, R., Yoshimura, K., Seto, S., Nakamura, S., Oki, T., 2016. Statistical model for economic damage from pluvial floods in Japan using rainfall data and socioeconomic parameters. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, 1063–1077. doi:10.5194/nhess-16-1063-2016
- Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., Jakob, M., 2014. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *J. Hydrol.* 518, 194–205. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.05.022
- Brázdil, R., Kundzewicz, Z.W., Benito, G., 2006. Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrol. Sci. J.* 51, 739–764. doi:10.1623/hysj.51.5.739
- Brum Ferreira, D., 1985. Les dépressions convectives du bassin Atlantique nord subtropical oriental. *Finisterra* 20, 25–45. doi:10.18055/Finis2065
- Butler, D., Davies, J.W., 2004. *Urban Drainage*, 2nd edition. ed. Spon Press, London. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Chang, T.J., Wang, C.H., Chen, A.S., 2015. A novel approach to model dynamic flow interactions between storm sewer system and overland surface for different land covers in urban areas. *J. Hydrol.* 524, 662–679. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.03.014
- Chen, C.F., Liu, C.M., 2014. The definition of urban stormwater tolerance threshold and its conceptual estimation: An example from Taiwan. *Nat. Hazards* 73, 173–190. doi:10.1007/s11069-013-0645-7
- Chen, W.B., Liu, W.C., 2014. Modeling flood inundation induced by river flow and storm surges over a river basin. *Water (Switzerland)* 6, 3182–3199. doi:10.3390/w6103182
- Cherqui, F., Belmeziti, A., Granger, D., Sourdril, A., Le Gauffre, P., 2015. Assessing urban potential flooding risk and identifying effective risk-reduction measures. *Sci. Total Environ.* 514, 418–425. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.02.027
- Chow, V. Te, 1956. Hydrologic Studies of Floods in the United States. *Int. Assoc. Sci. Hydrol.* 42, 134–170.
- CNT, 2014. *The Prevalence and Cost of Urban Flooding: A Case Study of Cook County, IL*. The Center for Neighborhood Technology.
- Condon, A.J., Sheng, Y.P., 2012. Evaluation of coastal inundation hazard for present and future climates. *Nat. Hazards* 62, 345–373. doi:10.1007/s11069-011-9996-0
- de Moel, H., Aerts, J.C.J.H., 2011. Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. *Nat. Hazards* 58, 407–425. doi:10.1007/s11069-010-9675-6
- DeSilva, D., Marlow, D., Beale, D., Marney, D., 2011. Sewer Blockage Management: Australian Perspective. *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.* 2, 139–145. doi:10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000084
- Diakakis, M., 2014. An inventory of flood events in Athens, Greece, during the last 130 years. Seasonality and spatial distribution. *J. Flood Risk Manag.* 7, 332–343. doi:10.1111/jfr3.12053
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Pallikarakis, A., Skordoulis, M., 2016. Factors controlling the spatial distribution of flash flooding in the complex environment of a metropolitan urban area. The case of Athens 2013 flash flood event. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 18, 171–180.

doi:10.1016/j.ijdr.2016.06.010

Diakakis, M., Deligiannakis, G., 2017. Flood fatalities in Greece: 1970–2010. *J. Flood Risk Manag.* 10, 115–123. doi:10.1111/jfr3.12166

Falconer, R.H., Cobby, D., Smyth, P., Astle, G., Dent, J., Golding, B., 2009. Pluvial flooding: New approaches in flood warning, mapping and risk management. *J. Flood Risk Manag.* 2, 198–208. doi:10.1111/j.1753-318X.2009.01034.x

Fragoso, M., Trigo, R.M., Zêzere, J.L., Valente, M.A., 2010. The exceptional rainfall event in Lisbon on 18 February 2008. *Weather* 65, 31–35. doi:10.1002/wea.513

Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D., Stancalie, G., Szolgay, J., Tsanis, I., Velasco, D., Viglione, A., 2009. A compilation of data on European flash floods. *J. Hydrol.* 367, 70–78. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.12.028

Gaume, E., Borga, M., 2008. Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations. *J. Flood Risk Manag.* 1, 175–189. doi:10.1111/j.1753-318X.2008.00023.x

Georgakakos, K.P., 1986. On the Design of National, Real-Time Warning Systems with Capability for Site-Specific, Flash-Flood Forecasts. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* doi:10.1175/1520-0477(1986)067<1233:OTDONR>2.0.CO;2

Hammond, M.J., Chen, A.S., Djordjević, S., Butler, D., Mark, O., 2015. Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review. *Urban Water J.* 12, 14–29. doi:10.1080/1573062X.2013.857421

Huong, H.T.L., Pathirana, A., 2013. Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 379–394. doi:10.5194/hess-17-379-2013

Hurford, A.P., Priest, S.J., Parker, D.J., Lumbroso, D.M., 2012. The effectiveness of extreme rainfall alerts in predicting surface water flooding in England and Wales. *Int. J. Climatol.* 32, 1768–1774. doi:10.1002/joc.2391

IAHS, 1974. *Flash-floods: Proceedings of the Paris Symposium*. Publication No. 112, International Association for Hydrological Sciences, IAHS-UNESCO-WMO, Wallingford, UK.

Jansá, A., Genovés, A., Picornell, M.A., Campins, J., Riosalido, R., Carretero, O., 2001. Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 2: Statistical approach. *Meteorol. Appl.* 8, 43–56. doi:10.1017/S1350482701001049

Jha, A.K., Bloch, R., Lamond, J., 2012. *Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*. World Bank. doi:10.1596/978-0-8213-8866-2

Kobiyama, M., Goerl, R.F., 2007. Quantitative method to distinguish flood and flash flood as disasters. *SUISUI Hydrol. Res. Lett.* 1, 11–14. doi:10.3178/suisui.1.11

Leal, M., 2011. *As cheias rápidas em bacias hidrográficas da AML Norte: factores condicionantes e desencadeantes*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território,

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

Leal, M., 2013. A importância das condições de humidade do solo na repartição intra-anual dos eventos danosos de cheia: o caso da Área Metropolitana de Lisboa, in: *VI Congresso Nacional de Geomorfologia*. Coimbra, pp. 37–40.

Llasat, M.C., Barriendos, M., Barrera, A., Rigo, T., 2005. Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *J. Hydrol.* 313, 32–47. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.02.004

Llasat, M.C., Marcos, R., Turco, M., Gilabert, J., Llasat-Botija, M., 2016. Trends in flash flood events versus convective precipitation in the Mediterranean region: The case of Catalonia. *J. Hydrol.* 541, 24–37. doi:10.1016/j.jhydrol.2016.05.040

Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., Gaume, E., 2010. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *J. Hydrol.* 394, 118–133. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.017

Merz, B., Kreibich, H., Thieken, A., Schmidtke, R., 2004. Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 4, 153–163. doi:https://doi.org/10.5194/nhess-4-153-2004

NRC, 2005. *Flash flood forecasting over complex terrain: with an assessment of the Sulphur Mountain NEXRAD in Southern California*. Committee to Assess NEXRAD Flash Flood Forecasting Capabilities at Sulphur Mountain, California & National Research Council, Board on Atmospheric Sciences and Climate e NEXRAD Joint System Program Office, National Research Council (U.S.). National Academi, Washington, D.C.

Oliveira, P.E., Ramos, C., 2002. Inundações na cidade de Lisboa durante o século XX e seus factores agravantes. *Finisterra* 37, 33–54. doi:http s://doi.org/10.1805 5/Fini s158 9

Parker, D.J., Priest, S.J., McCarthy, S.S., 2011. Surface water flood warnings requirements and potential in England and Wales. *Appl. Geogr.* 31, 891–900. doi:10.1016/j.apgeog.2011.01.002

Pereira, S., Zêzere, J.L., Quaresma, I., Santos, P.P., Santos, M., 2016. Mortality patterns of hydrogeomorphologic disasters. *Risk Anal.* 36, 22. doi:10.1111/risa.12516

Pereira, S., Diakakis, M., Deligiannakis, G., Zêzere, J.L., 2017. Comparing flood mortality in Portugal and Greece (Western and Eastern Mediterranean). *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 22, 147–157. doi:10.1016/j.ijdrr.2017.03.007

Pilgrim, D.H., Cordery, I., 1993. Flood runoff, in: Maidment, D.R. (Ed.), *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, New York, p. 9.1-9.42.

Pitt, M., 2008. Learning Lessons from the 2007 Floods. *Floods Review*. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2

Priest, S.J., Parker, D.J., Hurford, A.P., Walker, J., Evans, K., 2011. Assessing options for the development of surface water flood warning in england and wales. *J. Environ. Manage.* 92, 3038–3048. doi:10.1016/j.jenvman.2011.06.041

Ramos, C., 2005. Os Recursos Hídricos, in: Medeiros, C.A. (Ed.), *Geografia de Portugal – O Ambiente Físico*. Círculo de Leitores, Lisboa, pp. 386–415.

- Ramos, C., 2009. *Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território*. Núcleo de Investigação em Sistemas Litorais e Fluviais: Dinâmicas, Mudanças Ambientais e Ordenamento do Território (SLIF – 6), Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Ramos, C., Reis, E., 2001. As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas. *Finisterra* 36, 61–82. doi:10.18055/Finis1648
- Rudari, R., Gabellani, S., Delogu, F., 2014. A simple model to map areas prone to surface water flooding. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 10, 428–441. doi:10.1016/j.ijdrr.2014.04.006
- Ruiz-Bellet, J.L., Balasch, J.C., Tuset, J., Barriendos, M., Mazon, J., Pino, D., 2015. Historical, hydraulic, hydrological and meteorological reconstruction of 1874 Santa Tecla flash floods in Catalonia (NE Iberian Peninsula). *J. Hydrol.* 524, 279–295. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.02.023
- Smith, K., Ward, R., 1998. *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. Wiley, Chichester.
- Spekkers, M.H., Kok, M., Clemens, F.H.L.R., Ten Veldhuis, J.A.E., 2013a. A statistical analysis of insurance damage claims related to rainfall extremes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 913–922. doi:10.5194/hess-17-913-2013
- Spekkers, M.H., Zhou, Q., Arnbjerg-Nielsen, K., Veldhuis, M.-C., 2013b. Correlations between rainfall data and insurance damage data related to sewer flooding for the case of Aarhus, Denmark. *Int. Conf. Flood Resilience*, Exp. Asia Eur. 5-7 Sept. 2013, Exet. UK.
- Sperotto, A., Torresan, S., Gallina, V., Coppola, E., Critto, A., Marcomini, A., 2015. A multi-disciplinary approach to evaluate pluvial floods risk under changing climate: The case study of the municipality of Venice (Italy). *Sci. Total Environ.* 562, 1031–1043. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.03.150
- Sun, S., Fu, G., Djordjević, S., Khu, S.T., 2012. Separating aleatory and epistemic uncertainties: Probabilistic sewer flooding evaluation using probability box. *J. Hydrol.* 420–421, 360–372. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.12.027
- Suriya, S., Mudgal, B. V., Nelliyat, P., 2012. Flood damage assessment of an urban area in Chennai, India, part I: Methodology. *Nat. Hazards* 62, 149–167. doi:10.1007/s11069-011-9985-3
- Yu, D., Coulthard, T.J., 2015. Evaluating the importance of catchment hydrological parameters for urban surface water flood modelling using a simple hydro-inundation model. *J. Hydrol.* 524, 385–400. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.02.040
- Zêzere, J.L., Pereira, S., Tavares, A.O., Bateira, C., Trigo, R.M., Quaresma, I., Santos, P.P., Santos, M., Verde, J., 2014. DISASTER: A GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Nat. Hazards* 72, 503–532. doi:10.1007/s11069-013-1018-y