

ZONAS INUNDÁVEIS E QUANTIFICAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO EM MEIOS URBANOS: ESTUDO EM COIMBRA

Telmo José Alves Gomes de Paula

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de Coimbra, com especialidade na área de Hidráulica. (telmopaula89@sapo.pt)

Nuno Eduardo da Cruz Simões

Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.

José Alfeu Almeida de Sá Marques

Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.

Filipe Miguel Coelho Machado

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de Coimbra, com especialidade na área de Hidráulica.

Resumo

As inundações urbanas são, hoje em dia, um tema bastante atual em praticamente todos os países e, em particular, em zonas muito urbanizadas. Os danos por elas causados são, frequentemente, bastante graves, o que se afigura serem necessárias medidas preventivas para evitar, quando possível, ou mitigar esses eventos. A crescente urbanização e, eventualmente, as alterações climáticas recentes apresentam um forte contributo para os eventos de inundações em zonas urbanas. Associados às preocupações inerentes às inundações, surgem os mapas de risco, os quais classificam determinada zona, quando atingida por uma inundação, consoante as consequências sofridas. Em 2007, a União Europeia publicou a Diretiva 2007/60/CE que prevê, para todos os Estados-Membros, o dever de elaborarem mapas de risco de inundação. Assim, este artigo tem como objetivo a elaboração de mapas de zonas inundáveis e mapas de risco de inundação para a Zona Central de Coimbra, Portugal. Com esse propósito, simularam-se eventos pluviométricos com diferentes períodos de retorno e, com base nos resultados, elaboraram-se os referidos mapas. Através da sua elaboração, verificou-se que estes proporcionavam uma indicação clara de quais as zonas e os edifícios mais sujeitos a sofrerem maiores prejuízos em caso de inundação.

Palavras-chave: inundações, mapas, risco.

Abstract

Urban floods are currently a problem all over the world. The damage can be enormous, thus it is necessary to implement preventive measures to mitigate this problem. The increasing urbanization of permeable surfaces and the climate changes can lead to the occurrence of flooding. Drainage systems may not be prepared to the increasing of flow caused by these phenomena, therefore flooding may occur. Flood risk maps are used to classify the likelihood of flooding and quantify its consequence. In 2007 the European Union issued Directive 2007/60/CE, that requires Member States to assess if there are risk of flooding. The goals of this article are to create maps of floodable areas and flood risk maps for the Zona Central catchment in Coimbra. In order to achieve these objectives, precipitation events with different return periods were simulated and, based on the results obtained, flood risk maps were created. Those maps gave a clear indication about what areas and buildings are most likely to suffer considerable damages in case of flooding.

Keywords: floods, maps, risk.

INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Diretiva 2007/60/CE, estabelecida em outubro de 2007, enfatiza as inundações e os

problemas que estas podem criar para a população. Estas são fenômenos que não podem ser controlados e, portanto, é importante prevenir as comunidades para que estejam preparadas e

protegidas em caso de inundação. Existem, segundo o definido na Diretiva, quatro tipos de inundações, nomeadas de; cheias de origem fluvial, cheias repentinas, inundações urbanas e inundações marítimas em zonas costeiras. Este artigo foca-se sobre as inundações urbanas.

Algumas das principais causas que contribuem para o aumento da ocorrência de inundações urbanas são o aumento da percentagem de áreas impermeáveis – que aumentam o caudal escoado – e as alterações dos cursos de água naturais e dos sistemas de drenagem existentes – que aumentam as alturas de escoamento.

As alterações climáticas podem, também, ter alguma influência na gestão das infraestruturas de drenagem. Nos últimos anos, têm sido mais frequentes eventos climatéricos extremos, tais como os de natureza pluviométrica (LEITÃO, 2009). Com a ocorrência de um forte evento pluviométrico, os sistemas de drenagem existentes podem não se encontrar dimensionados para a impermeabilização atual da área (PEDROSO DE LIMA, 2013) e, desse modo, tendem a não conseguir escoar o caudal necessário. Isto faz com que a água saia do sistema de drenagem e passe a ser escoada à superfície, podendo, assim, gerar inundações.

Conceber sistemas de drenagem adaptáveis é, portanto, uma preocupação bastante atual. Eles são importantes para escoar as águas residuais e as águas pluviais de forma eficiente, prevenindo, deste modo, as inundações, bem como contribuindo para a manutenção da segurança e da saúde pública (BUTLER; DAVIES, 2011).

Na sequência dessa necessidade, surgem os mapas de risco, os quais classificam as zonas de acordo com a probabilidade de inundarem e com as consequências daí resultantes. A Diretiva 2007/60/CE prevê a necessidade da elaboração desse tipo de mapas em todos os Estados-Membros (Europeus), sendo, por isso, importante a sua realização.

A modelação matemática da drenagem urbana é fundamental para que se possa, de forma mais correta, dimensionar/gerir um sistema de drenagem, já que permite simular vários cenários e, daí, tirar ilações importantes.

Os objetivos deste artigo são a elaboração de mapas de zonas inundáveis e a quantificação do risco de inundação de uma determinada zona

urbana através da elaboração dos correspondentes mapas de risco de inundação.

A região sobre a qual incidirá o estudo será a zona central da cidade de Coimbra, junto à Câmara Municipal e à Igreja de Santa Cruz, em Portugal. Esta é uma área bastante propícia à ocorrência de inundações, o que justifica a elaboração do referido estudo.

Com recurso ao *software Storm Water Management Model (SWMM)*, fazem-se simulações computacionais com diferentes eventos pluviométricos, associados a diferentes períodos de retorno (T_r), através das quais se obtêm resultados que permitem elaborar mapas de zonas inundáveis associados a diferentes probabilidades de ocorrência. Com os resultados das zonas inundáveis, são analisadas as suas consequências em termos de impactos diretos nas infraestruturas afetadas, sendo aplicada uma metodologia quantitativa na elaboração dos mapas de risco. Tal metodologia tenta quantificar, com um valor monetário, o dano direto provocado pelas inundações, consoante a altura de água atingida em cada edifício.

O objetivo final é o de dispor de mapas de zonas inundáveis e mapas de risco, que classificam cada infraestrutura em função do grau de risco, em termos monetários, resultante de uma inundação.

METODOLOGIA

1. Introdução

Na realização deste trabalho, serão usadas modelação hidrológica e modelação hidráulica (drenagem dual 1D/1D), as quais permitirão a obtenção dos resultados necessários à elaboração dos mapas de risco. Indispensáveis à elaboração dos referidos mapas são os mapas de zonas inundáveis, que, por sua vez, necessitam de um modelo digital de terreno para que sejam desenvolvidos.

2. Metodologia para a elaboração dos mapas de zonas inundáveis

i. Introdução

Para a elaboração dos mapas de zonas inundáveis, é necessário efetuar a simulação do comportamento hidráulico do sistema de drenagem. Assim, são importantes as características da rede de drenagem do sistema

em estudo, que, neste caso, tal como já referido, é uma rede de drenagem dual. Os elementos necessários à realização da modelação hidrológica/hidráulica são a precipitação, a cartografia do terreno e o respectivo cadastro e a rede de drenagem.

ii. Precipitação

Os eventos de precipitação considerados para o trabalho foram obtidos, de acordo com Chow *et al.* (1988), através da aplicação do método dos blocos alternados, tendo sido utilizadas as curvas IDF regulamentares Portuguesas, conforme o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR), a fim de obter a intensidade de precipitação. A duração dos eventos de precipitação foi igual a três vezes o tempo de concentração da bacia. Segundo Portela *et al.* (2000), a utilização de um evento de precipitação com duração três vezes superior ao tempo de concentração da bacia pode conduzir a um caudal de ponta de cheia superior ao caudal de ponta resultante de um evento com duração igual a T_c . Pode-se, portanto, chegar a valores do caudal de ponta mais baixos do que os que realmente se verificam ao utilizar-se uma chuva com duração igual ao tempo de concentração da bacia. O tempo de concentração da bacia é, segundo a análise realizada, próximo de 45 minutos, sendo que a duração da chuva simulada foi o triplo desse valor, ou seja, 135 minutos. No método dos blocos alternados, foram usados 15 blocos, sendo, portanto, o intervalo de tempo de cada bloco igual a nove minutos. O período de retorno da chuva simulada é de 20 a 100 anos.

iii. Modelação hidrológica/hidráulica

Tendo a cartografia do terreno e o cadastro, e com a rede de drenagem que se obteve da forma como será explicada a seguir, foi possível efetuar a modelação hidrológica/hidráulica do sistema de drenagem. A modelação é feita aplicando o conceito de drenagem dual, sendo que é utilizado um modelo 1D/1D. A partir dessa modelação, serão obtidos os resultados que permitirão a elaboração dos mapas de zonas inundáveis. Estes são realizados através da análise dos resultados e consequente demarcação das zonas que inundam, consoante

as diferentes alturas de água pela qual serão afetadas.

iv. Rede de drenagem dual

Na geração do modelo digital de terreno usado neste trabalho, foi usada a tecnologia LIDAR. O modelo LIDAR possui 1m de lado e uma precisão vertical entre 10 e 15cm.

Com base no modelo digital de terreno, o desenho da rede de escoamento superficial é feito automaticamente através da metodologia de Delineação Automática do Escoamento Superficial (AOFD – *Automatic Overland Flow Delineation*).

Dispondo da rede de escoamento superficial e da rede de coletores, é possível, assim, juntá-las, chegando à rede de drenagem dual. Essa rede foi usada por Simões (2012) no *software* InfoWorks CS, sendo que, neste artigo, será usado o *software* SWMM.

3. Metodologia para a classificação do risco

A classificação do risco de inundação é efetuada por meio da elaboração de mapas de risco que resultarão da aplicação de uma metodologia quantitativa, que classifica o risco de acordo com o custo resultante dos danos provocados por uma inundação.

A abordagem quantitativa é uma metodologia que visa à quantificação do valor monetário associado aos danos provocados por uma inundação. Existem já vários estudos no âmbito da realização dessa quantificação, sendo a maior parte deles focada nos custos resultantes dos danos diretos devido a uma inundação (LEITÃO, 2009). No entanto, segundo Ryu (2008), ainda não se chegou a um consenso em relação à metodologia a ser usada para tais tipos de danos.

Os danos resultantes de uma inundação dependem de vários parâmetros, quer relacionados com o próprio evento pluviométrico que deu origem à inundação e à própria inundação, tais como a altura de água atingida, a velocidade de escoamento e a duração do evento pluviométrico, quer relacionados às próprias infraestruturas afetadas, tais como o tipo e o uso do edifício e o número de habitantes e a sua situação socioeconómica (LEITÃO, 2009).

Essa metodologia envolve a aplicação de funções de custo que serão adaptadas a Portugal a partir das propostas por Penning-Rowell para o Reino Unido.

A metodologia usada neste estudo, para a quantificação dos custos associados a uma inundação, baseia-se na seguinte sequência:

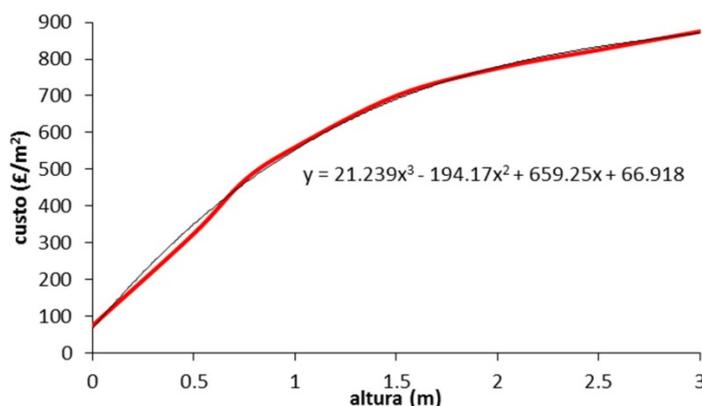
- identificação das zonas inundáveis.
- identificação das infraestruturas afetadas.
- estimativa da altura de água para cada área de zona inundável, baseada nos resultados da simulação hidráulica.
- estimativa do dano causado pela inundação, baseada nas funções de custo que relacionam altura de água-custo dos danos.
- registo dos resultados

A curva que será usada no estudo é adaptada de Penning-RowSELL (*apud* LEITÃO, 2009), como já referido. A adaptação passa por, após se obter uma função que expresse a relação custo-altura

de água, relacionar o Produto Interno Bruto *per capita* do Reino Unido (ao qual essas curvas se referem) com o PIB *per capita* Português e, ainda, a conversão do valor do custo resultante de Libras Esterlinas para Euros.

Penning-RowSELL (*apud* LEITÃO, 2009) propõe duas curvas para expressar o custo dos danos em função da altura de água: uma para edifícios residenciais e outra para não-residenciais. A zona crítica da zona em estudo, sobre a qual se focará a análise, é, ao nível do rés-do-chão, a zona da infraestrutura afetada pelas inundações, maioritariamente, constituída por espaços comerciais, sendo, então, usada a curva referente a edifícios não-residenciais. Apresenta-se na Figura 1 a curva de custo com a respectiva equação que a traduz:

Figura 1 – Curva de custo dos danos



Fonte: adaptada de Penning-RowSELL (*apud* LEITÃO, 2009).

Sendo o valor do PIB *per capita* do Reino Unido, segundo o World Bank (2013), igual a US \$ 38.974 e o PIB *per capita* de Portugal igual a US\$ 22.485, temos uma relação entre esses dois valores de aproximadamente 1,7. Este será o fator de conversão para que se obtenha uma curva de custo dos danos referente a Portugal (de uma forma aproximada). Além disso, tem-se que converter as unidades monetárias de Libras Esterlinas para Euros. Segundo o Banco de Portugal (2013), à data da realização deste artigo, 1 Libra Esterlina corresponde a 1,17 Euros. Assim, a expressão final que traduz o custo dos danos de inundação é a apresentada a seguir (Equação (1)):

$$\text{Custo (€/m}^2\text{)} = \frac{21.239h^3 - 194.17h^2 + 659.25h + 66.918}{1.7} \quad (1)$$

em que:

h – altura do escoamento

Tem-se, assim, a curva de custo que será usada para a elaboração dos mapas de risco.

a. Caso de estudo

A zona em estudo situa-se na cidade de Coimbra. Esta é uma cidade do centro de Portugal, capital de distrito, com cerca de 140 mil habitantes no seu município. Um dos principais focos de interesse dessa cidade é a Universidade de Coimbra, instituição acadêmica histórica, com

mais de sete séculos de existência, reconhecida no âmbito mundial.

A zona em estudo é a zona central de Coimbra. A sua bacia hidrográfica tem uma área total de aproximadamente 1,5km². O sistema de drenagem existente possui um comprimento de 34,8km, dos quais apenas 1,2km são exclusivamente para escoamento de águas pluviais. O tempo de concentração dessa bacia é estimado em 45 minutos.

O foco de estudo centrar-se-á, no entanto, não sobre a totalidade da área em estudo, mas apenas

numa área considerada crítica (em vermelho na Figura 2), visto ser uma zona baixa onde facilmente se acumula água. Ou seja, as simulações serão realizadas para a totalidade da bacia, de modo a que não se altere o seu funcionamento como um todo, mas os resultados que serão tratados e apresentados serão apenas os correspondentes à referida área crítica.

Na área crítica mencionada, têm-se verificado nos últimos anos, de fato, diversas inundações, entre as quais se destaca a de 9 de Junho de 2006 (Figura 3).

Figura 2 – Zona central de Coimbra, com a área crítica da bacia, em vermelho



Fonte: elaboração própria.

Figura 3 – Praça 8 de Maio na cheia de 09/06/2006



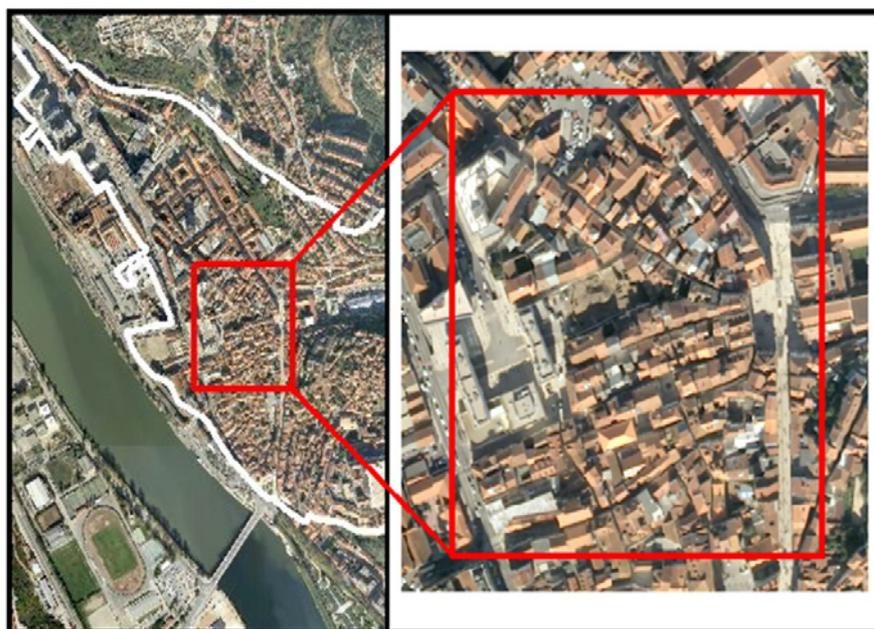
Fonte: Simões, 2012.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização das simulações hidrológicas/hidráulicas, com o SWMM, foi possível elaborar os mapas de zonas inundáveis. Para isso, foi usado o *software* ArcGIS como auxiliar. Neste *software*, dispunha-se já da representação dos vários edifícios existentes na zona em estudo, tendo tais dados sido fornecidos

pela Prefeitura Municipal de Coimbra. Essa representação era feita no plano (2D), tendo sido trabalhada para surgir a três dimensões (3D), juntamente com o modelo digital de terreno. A Figura 4 mostra a edificação da zona crítica da área em estudo.

Figura 4 – Edifícios presentes na zona crítica da área em estudo



Fonte: elaboração própria.

Com o modelo digital do terreno, foi possível, por meio da utilização da metodologia AOFD, gerar as zonas de acumulação de água, bastante importantes para a realização do trabalho proposto. Tendo essa representação, é possível saber quais os edifícios que são afetados pelas zonas de acumulação de água, através da interseção das mesmas com os edifícios. Isto é importante para se poder cruzar os resultados obtidos nas simulações hidráulicas com essas interseções, o que possibilita perceber qual a altura de água que afeta cada edifício.

Ao dispor das zonas de acumulação de água que interseçam cada edifício, pode-se associar a cada infraestrutura uma altura de água pela qual esta é afetada. No entanto, neste aspeto, é necessário ter um cuidado muito particular devido ao fato de existirem, em muitos casos, mais do que uma zona de acumulação de água (*pond*) a interseçar o mesmo edifício, o que

faz com que seja necessário analisar qual dessas zonas de acumulação tem maior impacto sobre o edifício, ou seja, qual delas tem uma altura de água maior. Toda a área do edifício em planta se considera como afetada pela máxima altura, uma vez que não se tem em conta a configuração arquitetônica nem a modelação da entrada de água no edifício.

Depois de efetuada a referida filtragem dos resultados, de modo a que apenas se considere a máxima altura de água que interseça cada um dos edifícios, avançou-se para a elaboração dos mapas de zonas inundáveis.

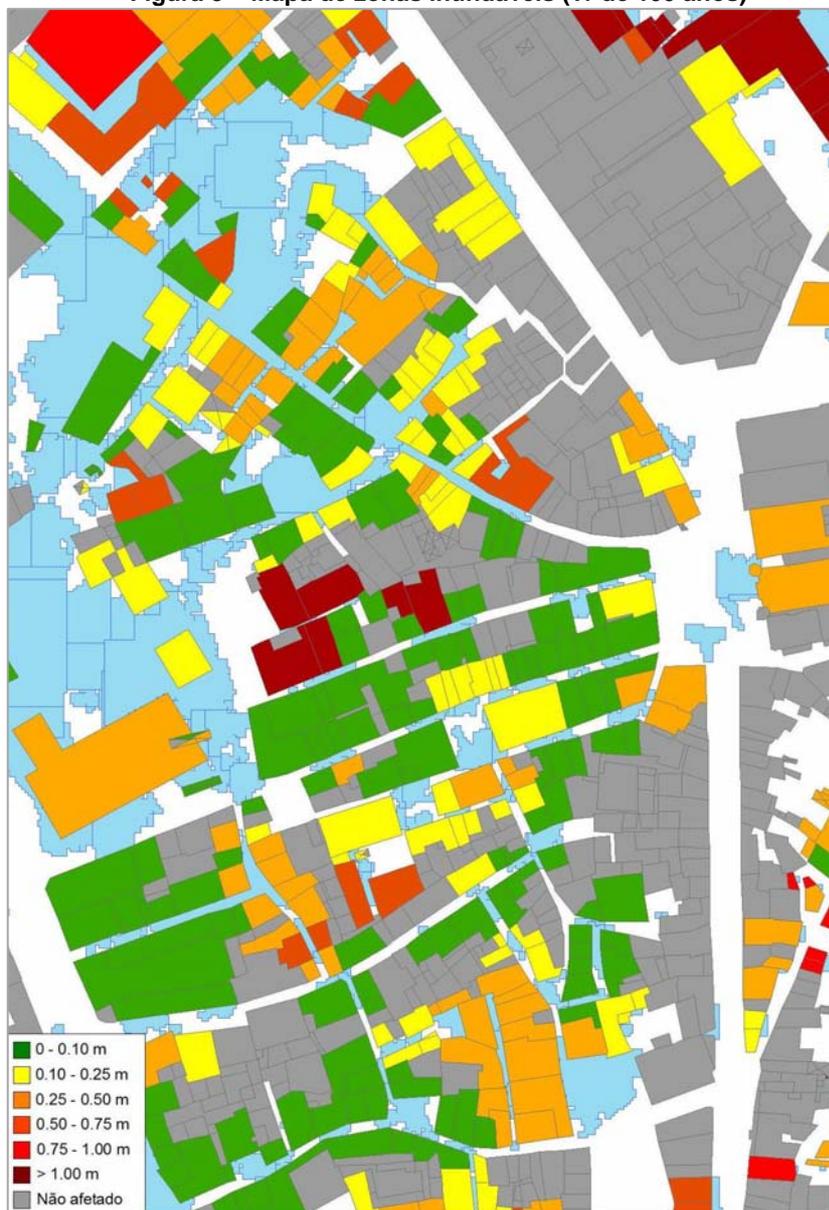
Na elaboração desses mapas, foi usada uma divisão por classes de altura água, correspondendo à cor verde uma altura baixa e à cor vermelho-escuro uma altura bastante alta. Classes intermédias tomam as cores amarelo, laranja e vermelho. Cada edifício afetado em caso de inundação surge, então, com a cor indicativa da

classe de altura de água que atinge essa infraestrutura. Caso não seja afetado em caso de inundação, surge a cor cinzenta.

Apresenta-se, assim, um dos mapas de zonas inundáveis resultante de um evento de

precipitação com período de retorno de 100 anos (Figura 5). Com base nesses mapas, é possível, posteriormente, elaborar os mapas de risco de inundação.

Figura 5 – Mapa de zonas inundáveis (Tr de 100 anos)



Fonte: elaboração própria.

Fazendo uma análise dos resultados obtidos nos mapas de zonas inundáveis (PAULA, 2013), percebe-se que a maior parte dos edifícios que são afetados são atingidos por uma altura de água pequena. No entanto, quer no mapa associado a um evento pluviométrico com Tr de 20 anos, quer no de Tr de 100 anos, verifica-se um número que se pode dizer considerável de

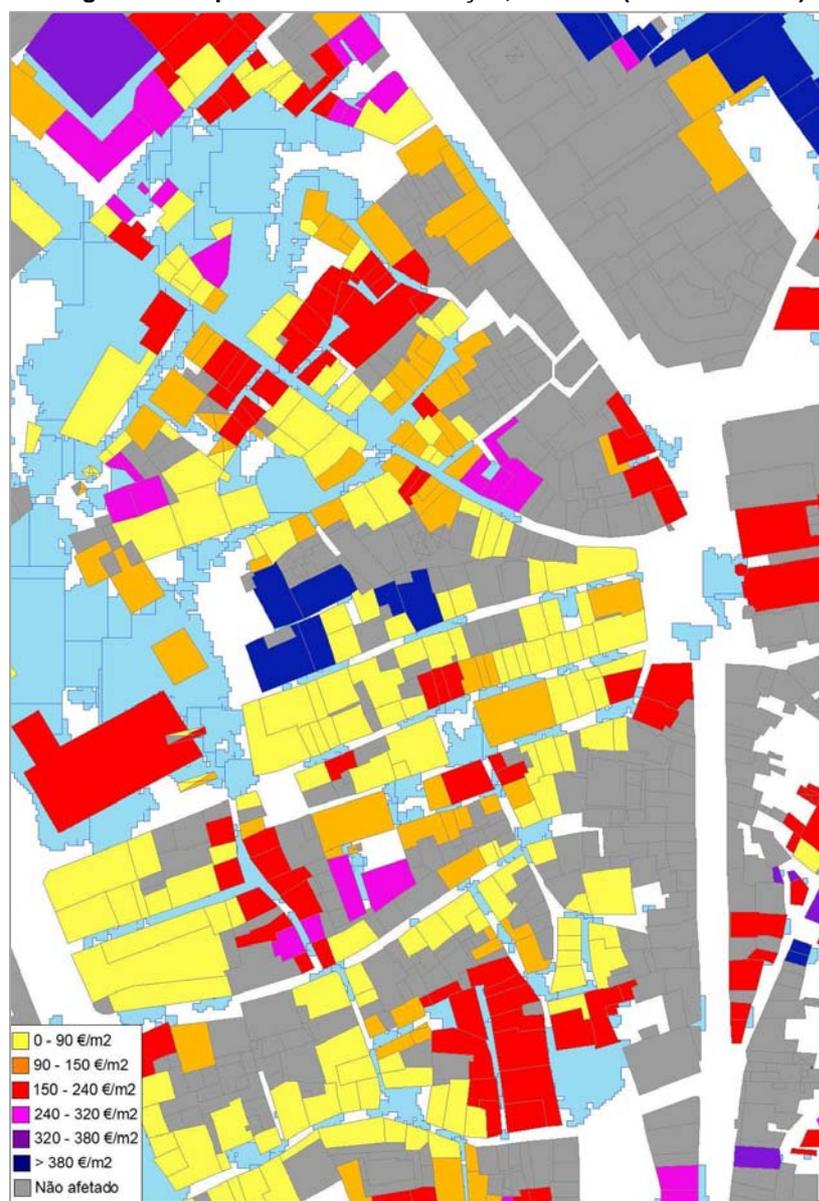
edifícios na classe 0,25 a 0,50m. O impacto de uma inundação sobre esses edifícios já será preocupante. Sofrendo um impacto maior do que o referido, surgem, ainda, alguns edifícios, em maior número, como é natural, para o evento pluviométrico com período de retorno de 100 anos. Estas serão, então, as infraestruturas mais suscetíveis a sofrer danos mais graves em caso de uma inundação.

Depois de se terem os mapas de zonas inundáveis, é possível obterem-se mapas de risco de inundação. Estes expressarão o risco de inundação de uma forma quantitativa, como já foi referido. Para a sua elaboração, é necessária uma curva de custo que traduza monetariamente o valor dos danos provocados por uma inundação, curva esta que foi apresentada no item anterior.

Com a função de custo, é possível elaborar o mapa de risco que traduz, de uma

forma quantitativa, o risco inerente a uma inundação. Ou seja, cada edifício é classificado consoante o intervalo de custo resultante dos danos provocados, nesse mesmo edifício, quando de uma inundação. A figura 6 mostra o mapa de risco obtido com os resultados da simulação de um evento de precipitação com Tr de 100 anos.

Figura 6 – Mapa de risco de inundação, em €/m² (Tr de 100 anos)



Fonte: elaboração própria.

Além dos mapas de risco que classificam o risco de acordo com o custo por m², dos quais é exemplo o apresentado anteriormente, é

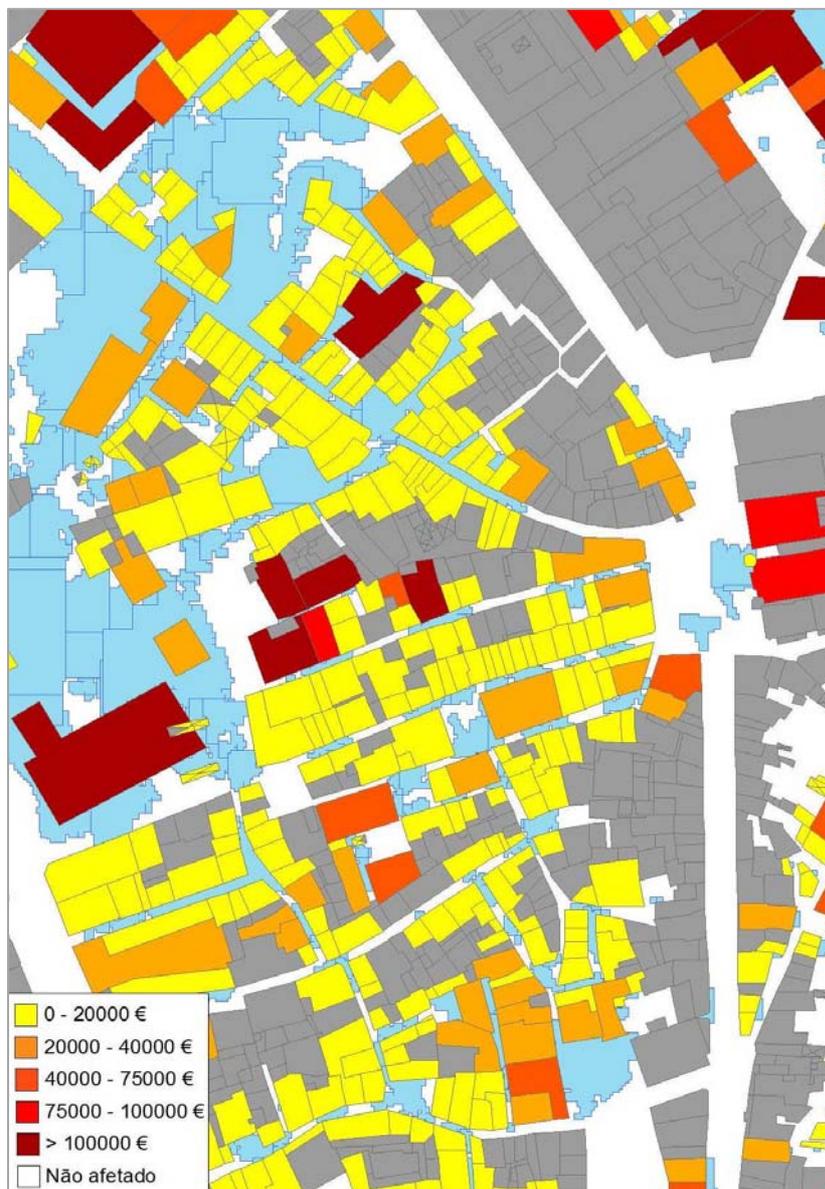
importante, ainda, elaborar um mapa que traduza o risco através do custo total dos danos. Esses

mapas podem ser vistos como um complemento aos anteriores, pois resultam da multiplicação dos

valores de custo por esses mapas traduzidos pela área de cada infraestrutura. Na Figura 7, apresenta-se o mapa de risco de inundação correspondente a um período de retorno de um

evento pluviométrico de 100 anos, o qual classifica o risco de acordo com o custo total dos danos.

Figura 7 – Mapa de risco de inundação, em €(Tr de 100 anos)



Fonte: elaboração própria

Ao analisar os mapas de risco (PAULA, 2013) percebe-se que, como é natural, quando surge uma inundação resultante de um evento de precipitação com período de retorno baixo, os danos são, na globalidade, menores, visto esta resultar de níveis de precipitação mais baixos quando comparada aos eventos pluviométricos com maiores períodos de retorno. Essa diferença não é, no entanto, muito acentuada. Uma das

razões que pode explicar isso é o fato de existirem classes de altura de água, o que faz com que, como já foi referido anteriormente, vários edifícios, apesar de serem afetados por uma altura de água um pouco diferente quando ocorre um evento de precipitação com Tr de 20 anos e um com Tr de 100 anos, se encontrem dentro da mesma classe, sendo o resultado final igual.

Atentando aos mapas de risco que expressam o risco em função do custo total, pode concluir-se, tal como explicitado anteriormente, que o fato de um edifício ser afetado por um nível de água baixo não implica que o custo total dos danos seja também baixo, visto que este valor depende da área do edifício. Assim, edifícios cuja área é grande apresentarão um custo total elevado, mesmo que não sejam atingidos por um nível de água elevado. Edifícios menores, a menos que sejam afetados por uma altura de água elevada, não apresentarão, portanto, um custo muito elevado, visto terem uma área reduzida.

CONCLUSÃO

As inundações são, cada vez mais, um fator preocupante para a população já que estas têm se tornado mais frequentes ao longo das últimas décadas. A crescente urbanização de espaços anteriormente permeáveis faz com que o escoamento à superfície possa aumentar, gerando, assim, inundações.

Aliado ao fator referido, o não acompanhamento na evolução dos sistemas de drenagem em relação ao aumento da sua solicitação faz com que se gerem inundações urbanas. É, por isso, importante o estudo desses fenômenos de modo que a população possa estar avisada e preparada para possíveis situações de inundação.

A Diretiva 2007/60/CE impõe a necessidade da realização de mapas de zonas inundáveis e de mapas de risco de inundação, sendo, por isso, cada vez mais importante estudar as inundações e o impacto que estas têm nas comunidades.

O conceito de drenagem dual é fundamental para o estudo de inundações urbanas, pois as ruas funcionam como um sistema de drenagem que interage com o sistema de coletores. Por vezes, também as inundações não surgem apenas devido a não capacidade de resposta dos coletores, mas porque o escoamento superficial não entra por completo para as condutas, podendo, assim, acumular-se à superfície.

Os mapas apresentados neste artigo indicam quais as zonas, numa área considerada como crítica na zona central de Coimbra e para inundações resultantes de chuvas com períodos de retorno de 20 e 100 anos, que são mais

propícias a inundar e cujos danos provocados resultam em maiores custos.

Focalizando a análise apenas nos mapas de risco, pode concluir-se que um edifício, apesar de afetado por uma altura de água superior em relação a um outro, não terá, necessariamente, um custo total, referente aos danos provocados, superior, visto que este depende da área da infraestrutura. Edifícios pequenos podem ser atingidos por uma altura de água elevada e o custo total ser, naturalmente, inferior ao custo total dos danos num edifício de grandes dimensões.

Em suma, a metodologia utilizada neste artigo, no âmbito da quantificação do risco de inundação, mostrou a importância da realização de mapas de zonas inundáveis e mapas de risco de inundação, os quais podem ser utilizados na prevenção de futuras inundações por parte da população.

Na sequência, poderão ser realizados trabalhos futuros no âmbito da elaboração de mapas de risco, também de uma forma quantitativa, para outros tipos de estruturas ou mesmo para as ruas, tentando quantificar o custo dos prejuízos recorrente de uma inundação nas várias ruas da cidade. Poderão, também, ser analisados com maior pormenor os edifícios da zona em estudo e ser feita uma distinção entre edifícios habitacionais e edifícios comerciais, adaptando as curvas de custo para os diferentes tipos de utilização dos edifícios, custos de saúde pública, património e espaços públicos.

REFERÊNCIAS

BANCO DE PORTUGAL. Disponível em: <http://www.bportugal.pt/ptPT/Estatisticas/Dominios%20Estatisticos/EstatisticasCambiais/Paginas/Conversor.aspx>. Acesso em: 28 jun. 2013.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban drainage**. Oxon: Spon Press, 2011.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. Design storms. In: **Applied hydrology**. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1988. p.64-467.

LEITÃO, J. P. C. **Enhancement of digital elevation models and overland flow path delineation methods for advanced urban flood modelling**. 2009. 366f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College, Londres, 2009.

PAULA, T. J. **Zonas inundáveis e quantificação do risco de inundação em meios urbanos**. 2013. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2013.

PEDROSO DE LIMA, J. Introdução. In: PEDROSO DE LIMA, J. (Ed.). **Hidrologia urbana** - sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas. Lisboa: ERSAR e Universidade de Coimbra, 2013. p.1-3.

PORTELA, M. M.; MARQUES, P.; CARVALHO, F. F. D. Hietogramas de projeto para a análise de cheias baseada no modelo do hidrograma unitário do Soil Conservation Service (SCS). In: CONGRESSO DA ÁGUA, 5., 2000, Lisboa. Lisboa: APRH, 1 CD-ROM, 2000.

RYU, J. **Decision support for sewer flood risk management**. 2008. 323f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Department of Civil Engineering, Imperial College, Londres, 2008.

SIMÕES, N. E. **Urban pluvial flood forecasting**. 2012. 153f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Department of Civil Engineering, Imperial College, Londres, 2012.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2007/60/EC do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2007 relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações. **Jornal Oficial da União Europeia**, 23 out. 2007.

WORLD BANK. Disponível em:
<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>.
Acesso em: 28 jun.2013.