

AVALIAÇÃO DA INCIDÊNCIA AO RISCO DE INUNDAÇÃO

Aplicação a um caso particular no Concelho de Lisboa

Filipa PAIS

Engenheira Biofísica pela UE, Apartado 94 Dep. Eng.ª Rural 7000 Évora, filipapais@portugalmail.pt

Maria Madalena MOREIRA

Professora Auxiliar Dep. Eng.ª Rural, Apartado 94 Dep. Eng.ª Rural 7000 Évora, mmvmv@uevora.pt

Resumo

Apresenta-se neste trabalho um estudo, em ambiente SIG, sobre a incidência ao risco de inundação no caso de uma bacia hidrográfica urbana, com aplicação a uma bacia no Concelho de Lisboa.

São estudados vários cenários e propostas de alterações no tipo de revestimento do solo de modo a minimizar os problemas decorrentes de precipitações intensas de curta duração e para diferentes períodos de retorno.

Atendendo aos resultados obtidos, pode afirmar-se que a utilização de um pavimento permeável encontra resultados práticos na redução do escoamento superficial, e conseqüentemente, na redução do caudal de ponta afluente à secção, sendo perceptível uma redução da área inundável para períodos de retorno superiores a 5 anos.

Palavras-chave: risco de inundação, bacia hidrográfica urbana, balanço hidrológico, escoamento superficial, hidrograma.

1 INTRODUÇÃO

São muitas as circunstâncias imprevistas e dramáticas que decorrem dos acidentes graves, calamidades ou catástrofes, a que infelizmente se tem assistido nos nossos tempos e que muitas vezes destroem vidas, bens e o património colectivo. Paralelamente ao progresso que conduziu às actuais sociedades modernas, registam-se sucessões de desastres naturais ou provocados pelo homem, que acarretam consigo destruição e dor, na maioria dos casos de consequências irreparáveis.

Segundo a Protecção Civil (SNPC, 1984) entende-se como acidente grave uma *“ocorrência em espaço geográfico limitado, podendo provocar vítimas, prejuízos económicos de maior ou menor amplitude e que afecte igualmente o ambiente”*. Como calamidade, entende-se o *“acontecimento ou série de acontecimentos anormais, de desenvolvimento prolongado, normalmente previsíveis, afectando extensas áreas, com elevados prejuízos materiais e eventual perda de vidas humanas”* e como catástrofe, o *“acontecimento súbito, quase sempre imprevisível, afectando grande número de cidadãos, provocando vítimas, prejuízos materiais avultados e ultrapassando a capacidade da comunidade atingida para lhe fazer face”*.

À semelhança de qualquer outro grande centro urbano, Lisboa é uma cidade vulnerável a vários tipos de ocorrências, não só pelas suas características socio-geográficas como também pelo tipo de produção e apropriação do espaço urbano que gera. Qualquer fenómeno natural ou actividade humana pode desencadear situações de risco, sendo estas definidas como *“a possibilidade de ocorrência inesperada de determinado acontecimento indesejável, expondo as comunidades a consequentes perdas de vidas, bens e/ou à degradação do meio envolvente em geral”* (SMPC, 2001).

Como tal, pode afirmar-se, segundo TELHADO (1998), que *“Lisboa se apresenta como um concelho fortemente vulnerável a situações de risco, quer sejam elas de origem natural ou tecnológica, podendo estas situações apresentar incidência supra-concelhia (ex: risco sísmico), ou encontrarem-se circunscritas a áreas específicas (ex: risco de inundação)”*.

Apesar das inundações se constituírem como um fenómeno circunscrito e para além dos meios susceptíveis de serem utilizados, quer no campo da prevenção e planeamento, quer no campo da ocorrência física e real, a realidade é que se assiste nos nossos dias, a um aumento da incidência deste risco no concelho de Lisboa. Com este estudo pretendeu-se avaliar a incidência ao risco de inundação numa secção específica, escolhida aleatoriamente, a qual representa um ponto real de inundação, em que se verificou a entrada em carga do colectador.

2 ENQUADRAMENTO

2.1 A cidade de Lisboa

Como é do conhecimento geral, a cidade de Lisboa apresenta-se, à semelhança do que acontece com as outras grandes cidades europeias, como um espaço altamente urbanizado, em que o betão é, talvez, o elemento dominante. Desde as décadas de 60 e 70, altura em que se verificou a entrada de grandes massas populacionais na cidade, que Lisboa se apresenta como um espaço de elevado índice de ocupação, associada não só à construção como também à implementação de vias e de todo o tipo de equipamento. Esta urbanização traduz-se, consequentemente, num aumento da impermeabilização, evidenciando profundas alterações na morfologia superficial, pelo que as linhas de água naturais passaram a virtuais, assistindo-se à sua artificialização e canalização.

COSTA (2000) realça este aspecto ao afirmar que *“os dois buracos abertos lado-a-lado num mar de terra lamacenta, bem podiam ser as narinas por onde respira agora a ribeira de Alcântara. Ou melhor, o caneiro de Alcântara. Porque afinal as suas águas turvas e o cheiro nauseabundo são apenas a amostra de uma ribeira que no ‘século XVI era tão larga que permitia a navegação’ (...)”*.

As consequências da intervenção humana na construção e desenvolvimento das cidades, da qual Lisboa constitui um bom exemplo, são diversas. Para além da alteração de determinadas

características hidráulicas, tal como o aumento da velocidade de escoamento, outros aspectos, designadamente de natureza social e ambiental, se lhes associam. *“O cidadão urbano, afastado do contacto com a linha de água, perde natural e progressivamente sensibilidade para os riscos potenciais de uma infra-estrutura que passou a estar fora do seu ‘olhar’. Estas linhas de águas reduzidas a ‘caminhos subterrâneos limitados na sua secção útil’, perdem a sua capacidade ‘natural’ para constituírem espaço útil de armazenamento para ocorrências pluviosas mais intensas”* (MATOS, 2000).

O facto de Lisboa possuir uma rede de colectores maioritariamente do tipo unitário, vem ainda agravar este tipo de situação, uma vez que os colectores, muitas vezes subdimensionados, drenam conjuntamente águas residuais domésticas e águas pluviais, pelo que, quando se verificam ocorrências pluviosas mais intensas, os colectores entram em carga, anulando a sua capacidade de recepção do caudal afluente, originando assim inundações. Para além deste problema do subdimensionamento evidenciado por grande parte da rede de colectores que serve a cidade de Lisboa, existem ainda outros factores favoráveis à ocorrência de inundações que, segundo o Departamento Municipal de Infra-Estruturas e Saneamento da Câmara Municipal de Lisboa (DMIS/CML), se prendem principalmente com a idade e o mau estado de conservação de alguns colectores, assim como os problemas de obstrução e assoreamento dos mesmos.

Conjugando todos estes factores, facilmente se pode perceber que Lisboa constitui uma cidade cada vez mais propícia à ocorrência de inundações, pelo que se pode afirmar que a incidência ao risco de inundação é maior.

2.2 Problemática dos riscos de inundação em zonas urbanas

O crescimento urbano, verificado ao longo dos últimos 40 anos, em áreas essencialmente rurais, provocou profundas alterações ao nível do ciclo hidrológico natural. Estas alterações, bastante marcadas nos aglomerados de importância crescente e na sua envolvente geográfica, estiverem e ainda estão, muitas vezes, na génese dos problemas e dificuldades com que habitualmente nos deparamos ao querermos alcançar um desenvolvimento urbano equilibrado e de qualidade.

Atendendo à complexidade do ciclo hidrológico natural, facilmente se percebe a complexidade e multidisciplinaridade que deverá estar associada ao ciclo hidrológico urbano, uma vez que são introduzidas novas variáveis. No entanto, dois aspectos particulares inerentes ao processo de urbanização podem considerar-se catalizadores desta transformação, nomeadamente, o aumento populacional e o crescimento da edificação urbana, o que se traduz, consequentemente, na impermeabilização do solo.

Para o objectivo do presente estudo, são particularmente importantes os impactos hidrológicos quantitativos da urbanização, nomeadamente os que se reflectem na alteração dos processos de escoamento e infiltração, e que podem intensificar a ocorrência de inundações.

2.3 Pavimento permeável, nova solução?

Hoje em dia, existem já várias soluções por forma a minimizar a ocorrência de inundações, assim como das suas consequências. Uma destas soluções, considerada neste trabalho, é a utilização de pavimentos permeáveis em algumas zonas da cidade de Lisboa.

“A utilização de pavimentos permeáveis em áreas urbanas visa reduzir o caudal escoado superficialmente, para além de auxiliar na melhoria das qualidades das águas e contribuir para um aumento da recarga de água subterrânea” (ARAÚJO, et al., 1999).

Como referido anteriormente, o concelho de Lisboa apresenta-se bastante impermeabilizado devido ao acréscimo significativo da população, o que se traduz num aumento das superfícies impermeáveis.

Para além do aumento das superfícies impermeáveis, a falta de planeamento e ordenamento verificado em Lisboa quando da ocupação dos espaços agora urbanos, traduziu-se em alterações

significativas nos parâmetros hidrológicos, principalmente no que diz respeito à taxa de impermeabilização das bacias hidrográficas que ocorrem no concelho de Lisboa, ocasionando assim transtornos e prejuízos, muitas vezes avultados, quando da ocorrência de inundações.

Segundo ARAÚJO *et al.* (1999), o aumento da incidência ao risco de inundação deve-se ao facto da impermeabilização da bacia hidrográfica conduzir a um aumento do caudal máximo escoado na secção de referência, à redução do tempo de concentração da bacia hidrográfica e ao aumento do volume escoado. Segundo os mesmos autores, “a tendência moderna na área da drenagem urbana, actualmente, é a busca da manutenção das condições de pré-desenvolvimento dos escoamentos em bacias urbanas surgindo assim, como solução desses problemas, a utilização de dispositivos de acréscimo de infiltração e de aumento do tempo de escoamento. Um tipo de dispositivo utilizado com esse fim é o pavimento permeável, que é capaz de reduzir volumes de escoamento superficial e caudais de pico a níveis iguais ou até inferiores aos observados antes da urbanização”.

No entanto, para além das vantagens oferecidas pela utilização deste tipo de pavimento, também existem alguns aspectos desfavoráveis associados, como se apresenta no Quadro 1.

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens da utilização de pavimento permeável

Vantagens	Desvantagens
Redução do volume de escoamento superficial	Elevado grau de entupimento
Acréscimo da taxa de infiltração	Necessidade de inspecções regulares
Aumento do tempo de escoamento e caudais de ponta de cheia ou até inferiores aos observados antes da urbanização (ARAÚJO <i>et al.</i> 1999)	Possível contaminação das águas subterrâneas
Controle das descargas e do volume de escoamento superficial	Uso restrito a áreas e passeios públicos (baixa capacidade de suporte)
Preservação do equilíbrio natural do local	
Superfície mais segura para conduzir	

3 OBJECTIVOS

Nesta comunicação, apresenta-se apenas parte do trabalho desenvolvido, e que diz respeito à caracterização da incidência ao risco de inundação e subsequente aplicação a uma secção, a qual corresponde a um ponto real de inundação, em que se verificou a entrada em carga do colector. Por forma a avaliar a incidência ao risco de inundação, determinaram-se vários parâmetros hidrológicos susceptíveis de influenciarem a avaliação da incidência ao risco de inundação. Foram considerados três cenários distintos, nomeadamente, bacia hidrográfica natural (cenário 0), bacia hidrográfica urbana (cenário 1) e bacia hidrográfica urbana, em que se apresentou solução para minimização da incidência ao risco de inundação (cenário 2), isto é, utilizou-se um pavimento permeável em 50%.

O trabalho foi realizado com recurso a um sistema de informação geográfica, tendo-se utilizado o *software* ArcView GIS 3.1®, e as extensões *Spatial Analyst*®, *3D Analyst*®, *Hidrologic Modeling*® da Environmental Systems Research Institute (ESRI).

4 METODOLOGIA

Por forma a caracterizar a incidência ao risco de inundação da bacia hidrográfica escolhida, construiu-se, em ambiente SIG, a carta de coeficientes de escoamento da fórmula racional. Depois de obtida esta carta, e com o objectivo de avaliar a incidência ao risco de inundação para a secção escolhida, determinou-se o tempo de concentração da bacia hidrográfica, a intensidade da precipitação

correspondente recorrendo às curvas intensidade-duração-frequência (IDF), o caudal de ponta de cheia pelo método racional, o hidrograma de cheia de Giandotti, o volume acumulado, a variação do nível de água na secção de referência e a área inundável.

A incidência ao risco de inundação foi analisada tendo em consideração três cenários:

Cenário 0: Bacia hidrográfica natural

Cenário 1: Bacia hidrográfica urbana

Cenário 2: Bacia hidrográfica urbana em que se utiliza um pavimento permeável

Dos 4518 registos de inundação, registados no período temporal compreendido entre 15 de Janeiro de 1972 e 31 de Dezembro de 1995, acrescido do dia 26 de Novembro de 1967, e que integravam, na altura de elaboração deste estudo, a base de dados de registos de ocorrências de pedidos de socorro por motivos de inundação ao Regimento de Sapadores Bombeiros (RSB), apenas foram considerados os registos que correspondiam à ocorrência de inundações em via pública e que fossem consequência do subdimensionamento dos colectores.

Para a delimitação da bacia hidrográfica em estudo, impôs-se como secção da mesma um ponto real de inundação ocorrido na via pública como consequência da entrada em carga do respectivo colector. Para esta delimitação, foi utilizada a extensão *Hydrologic Modeling*® da ESRI.

4.1 Determinação do tempo de concentração da bacia hidrográfica em estudo

O tempo de concentração de uma bacia, pode ser definido como o tempo necessário para que uma gota de água caída no ponto hidráulicamente mais afastado da bacia chegue à sua secção de referência.

A fórmula utilizada para a determinação do tempo de concentração da bacia hidrográfica relativa à secção em estudo foi a fórmula de Temmez:

$$t_c = 0,3 \times \left(\frac{L}{D^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (\text{horas}) \quad (1)$$

em que:

L – comprimento do maior percurso existente na bacia hidrográfica (km);

D – declive médio do maior percurso existente na bacia hidrográfica

Relativamente ao maior percurso existente na bacia hidrográfica, este foi dividido em troços com características homogéneas, tendo-se determinado o comprimento dos mesmos, assim como o seu declive médio, pelo que o coeficiente $L/D^{0,25}$ foi determinado para cada um dos troços considerados. Deste modo, o tempo de concentração obtido para a bacia representa um valor mais aproximado do valor real.

4.2 Determinação da intensidade da precipitação através da utilização das curvas intensidade – duração - frequência.

As curvas intensidade-duração-frequência (IDF) determinam, para um dado posto udrográfico, a relação entre a intensidade da precipitação e a duração da precipitação associada a um período de retorno.

As curvas IDF utilizadas, são curvas do tipo

$$i = aD^b \quad (2)$$

em que:

4.3.2 A fórmula racional

A fórmula utilizada na determinação do caudal de ponta de cheia foi a Fórmula Racional. Esta fórmula é traduzida pela equação:

$$Q_p = c \times i \times A \quad (4)$$

em que:

- Q_p – caudal de ponta de cheia (m³.s⁻¹);
- c - coeficiente de escoamento (adimensional);
- i – intensidade média correspondente ao valor máximo de precipitação para determinado período de retorno, com duração igual ao tempo de concentração da bacia (m.s⁻¹);
- a – área total da bacia hidrográfica (m²).

Optou-se pela utilização desta fórmula por ser a usualmente aplicada quando do dimensionamento de colectores, pelo que aplicada ao estudo de caudais de ponta de cheia em bacias urbanas. Para além disso, o facto desta equação integrar o coeficiente de escoamento, faz com que se entre em linha de conta com a natureza dos solos e da cobertura vegetal.

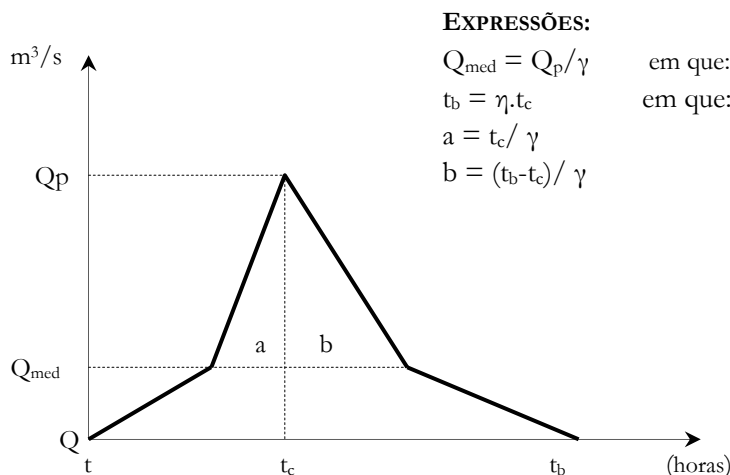
Relativamente aos parâmetros necessários para o cálculo do caudal de ponta de cheia através da Fórmula Racional, todos eles foram determinados anteriormente. No que diz respeito ao produto c.A, o qual representa o contributo de cada célula para o escoamento final, este foi efectuado para cada um dos coeficientes considerados, uma vez que o *software* utilizado (ArcView 3.1) permite determinar rapidamente as áreas dos polígonos, caso contrário, seria muito demorado o cálculo das áreas dos 3200 polígonos que constituem a carta de coeficientes de escoamento construída para a bacia hidrográfica relativa à secção em estudo. Determinados todos estes produtos, fez-se o seu somatório, tendo-se multiplicado o mesmo pelo valor das curvas IDF, relativas a um dado período de retorno, previamente determinado.

4.4 O hidrograma de cheia de Giandotti

O método de Giandotti permite determinar o hidrograma de cheia produzido por uma precipitação ponderada sobre a bacia de intensidade constante e com duração igual ao tempo de concentração. Neste hidrograma, o valor do caudal de ponta é atingido quando toda a bacia está a contribuir para o escoamento na secção considerada, uma vez que a duração da precipitação é igual ao tempo de concentração.

Relativamente à secção em estudo, não existiam quaisquer registos de caudais ou de outros parâmetros, uma vez que a secção diz respeito a um colector que entrou em carga, pelo que a caracterização da incidência ao risco de inundação foi feita de acordo com o facto de se tratar de uma bacia urbana, pelo que com linhas de água virtuais.

A figura 2 representa a forma do hidrograma de cheia de Giandotti, assim como as expressões utilizadas para calcular os valores necessários à construção do hidrograma. Apresentam-se também os parâmetros η e γ , que variam com a área da bacia hidrográfica, adaptados de CORREIA (1983)



Parâmetros η e γ

Área da Bacia Hidrográfica (km ²)	η	γ
< 300	10	4
300 a 500	8	4
500 a 1000	8	4,5
1000 a 8000	6	5
8000 a 20000	6	5,5
20000 a 70000	6	6

Figura 2 – Hidrograma de cheia de Giandotti para uma precipitação de intensidade constante e duração igual ao tempo de concentração e expressões utilizadas para a sua determinação.

4.5 Determinação do Volume de Água acumulado e da Área Inundável

4.5.1 Cenário 0 - Bacia hidrográfica natural

O primeiro cenário apresentado neste estudo, considera a bacia hidrográfica como sendo natural, não se verificando qualquer alteração de origem antropogénica.

Por forma a determinar o volume acumulado, utilizou-se a opção *Area and Volume Statistics* do menú *Surface* do *software* ArcView 3.1®. Este comando, permite determinar a área e o volume que se encontra acima ou abaixo de determinada altitude. Relativamente à bacia em estudo, determinou-se a área compreendida entre as curvas de nível, espaçadas de 10 cm, desde uma altitude de 13,83 m, que corresponde à secção de referência da bacia considerada, até à altitude de 14,43 m, para posterior cálculo do volume de água acumulado entre cada uma das curvas, tendo-se construído a curva de armazenamento de água.

A área inundável, calculada em função dos volumes determinados anteriormente, diz respeito à área susceptível de ser inundada por determinado volume de água considerado.

Observando os hidrogramas de cheia de Giandotti, determinou-se o volume de água afluente à secção para cada um dos períodos de retorno considerados, respectivamente, 2, 5, 10 e 20 anos, uma vez que são estes os considerados no dimensionamento da rede de colectores.

Depois de obtidos os volumes de água afluentes à secção, determinou-se por extrapolação dos gráficos relativos à área inundável e volume acumulado, as altitudes correspondentes aos volumes dos hidrogramas de cheia e as alturas de água relativas às altitudes.

4.5.2 Cenário 1 – Bacia hidrográfica urbana

O segundo cenário considerado corresponde a uma bacia urbana, pelo que traduz a realidade da bacia hidrográfica relativa à secção de referência em estudo, correspondendo esta a um ponto real de inundação ocorrida na via pública quando da entrada em carga do colector.

Por forma a determinar a área inundável para os vários períodos de retorno, tendo em conta o edificado, determinou-se a área ocupada pelo mesmo. Em seguida, subtraiu-se à altitude determinada para a bacia hidrográfica natural (cenário 0) a altitude a que se encontrava a secção (13,83 m), multiplicando-se o resultado obtido pela área ocupada pelo edificado, por forma a determinar o volume do mesmo (até à altura de água considerada) para cada um dos períodos de retorno em análise. Determinado este volume, adicionou-se o volume de água afluente à secção determinado para o cenário 0, tendo-se extrapolado, a partir do gráfico relativo à curva de armazenamento de água para o

cenário 0, a altura a que correspondia esta soma de volumes. Por fim, e através de nova extrapolação, efectuada com base no gráfico representativo da área inundável em função da altitude considerada para o cenário 0, determinou-se a área correspondente aos volumes considerados.

4.5.3 Cenário 2 – Bacia hidrográfica urbana utilizando um tipo de pavimento permeável

Neste cenário, considerou-se a utilização de um pavimento permeável, por forma avaliar o seu contributo, quando da incidência ao risco de inundação. Para tal, considerou-se um pavimento permeável em 50%, relativamente ao coeficiente de escoamento considerado anteriormente. A metodologia utilizada foi igual à estabelecida para o cenário 1, tendo em atenção que todos os espaços correspondentes a Parque de Estacionamento de Superfície, Rede Viária e Separador Central/Rotunda apresentavam um coeficiente de escoamento inferior, pelo que o seu contributo para o escoamento é inferior.

5 CASO DE ESTUDO. APLICAÇÃO A UMA BACIA HIDROGÁFICA URBANA DO CONCELHO DE LISBOA

5.1 Localização da área de estudo

Uma vez que seria muito dispendioso, quer financeira, quer cronologicamente, efectuar o estudo da Incidência ao Risco de Inundação para o concelho de Lisboa, optou-se por aplicar este estudo a apenas uma secção de referência, a qual corresponde a um ponto real de inundação ocorrida na via pública, presente no registo do Regimento de Sapadores de Bombeiros correspondente ao período temporal compreendido entre 15 de Janeiro de 1972 e 31 de Dezembro de 1995, acrescido de 26 de Novembro de 1967. A figura 1 apresenta a localização da secção de referência, relativamente ao espaço em que se insere, ou seja, ao concelho de Lisboa.

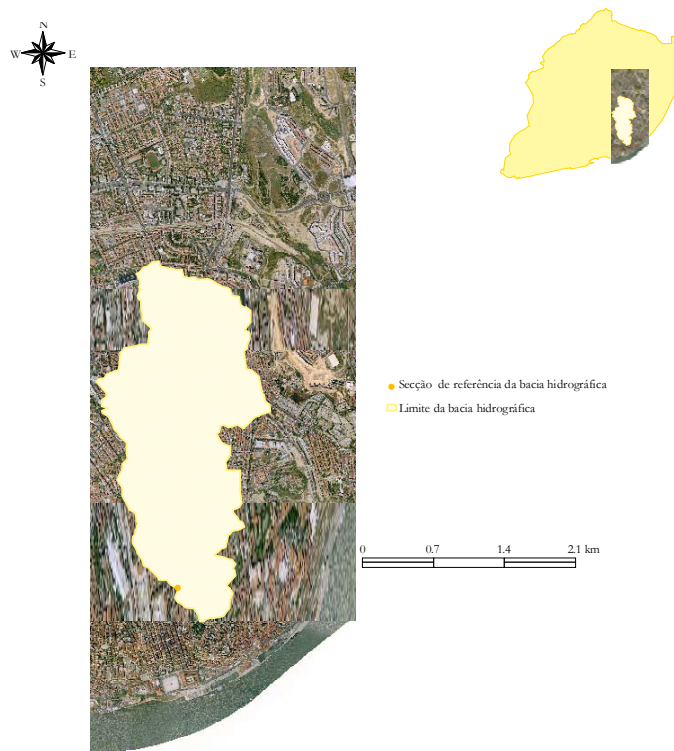


Figura 3 – Localização da secção de referência a estudar

5.2 Apresentação e Discussão de Resultados

5.2.1 Tempo de concentração da bacia hidrográfica em estudo

Para a bacia em estudo foi obtido um tempo de concentração de 5,10 horas, o que significa que uma gota de água que caia no ponto mais afastado da secção de referência demora 310 minutos a percorrer todo um trajecto que a levará a esse ponto.

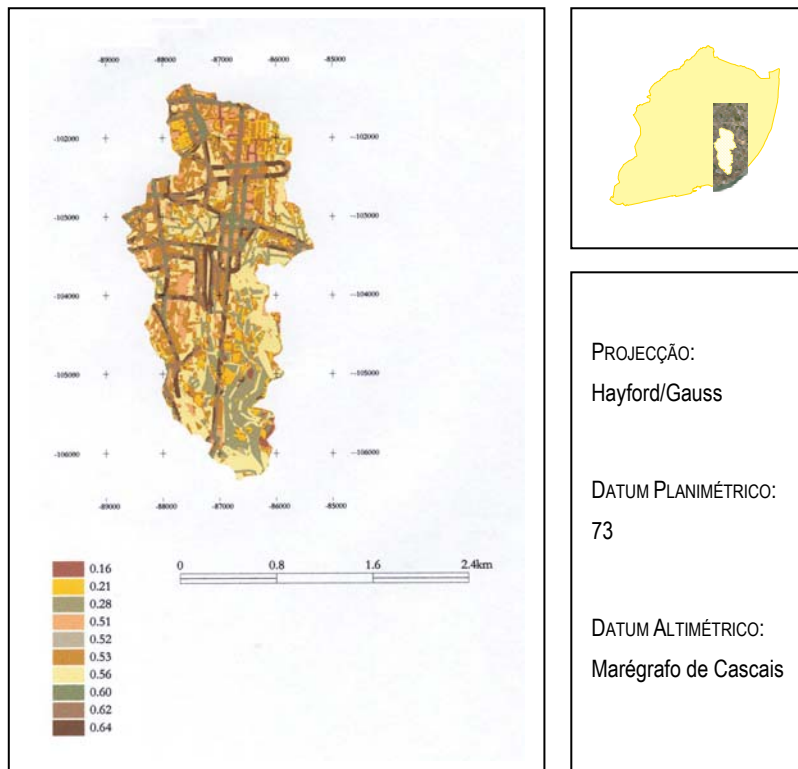


Figura 4 - Carta de coeficientes de escoamento obtida para a bacia hidrográfica da secção em estudo

5.2.2 Caudal de ponta de cheia

O quadro 2 apresenta os valores dos caudais de ponta de cheia, determinados para oito períodos de retorno. Salienta-se a necessidade de converter a intensidade da precipitação de mm/h para m/s, por forma a determinar o caudal de ponta de cheia (m^3/s).

Quadro 2 – Valores obtidos para os caudais de ponta de cheia, determinados pela Fórmula Racional, para vários períodos de retorno.

T (anos)	IDF (mm/h)	IDF (m/s)	Q (m^3/s)
2	6,92	0,0000019	4,30
5	8,71	0,0000024	5,42
10	10,63	0,0000030	6,61
20	12,05	0,0000033	7,49
50	13,88	0,0000039	10,60
100	15,27	0,0000042	11,66
500	18,44	0,0000051	14,09
1000	21,25	0,0000059	16,24

5.2.3 Hidrograma de cheia de Giandotti

O hidrograma de ponta de cheia obtido para a secção em estudo através do método de Giandotti, encontra-se representado pela figura 4.

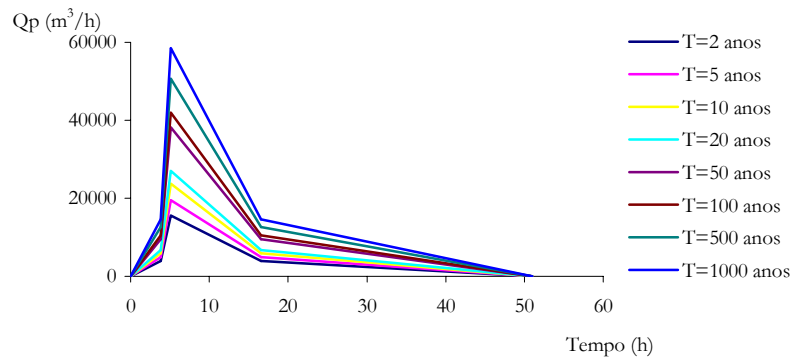


Figura 4 – Hidrograma de cheia de Giandotti para a bacia hidrográfica em estudo, para diferentes períodos de retorno.

5.2.4 Cenário 0 - Bacia hidrográfica natural

Determinadas estas áreas, calculou-se o volume acumulado para cada uma delas, tendo-se construído a curva de armazenamento de água (figura 5).

A área inundável, calculada em função dos volumes determinados anteriormente, diz respeito à área susceptível de ser inundada por determinado volume de água considerado. O gráfico da figura 6 representa a curva de área inundável relativamente aos volumes de água considerados anteriormente.

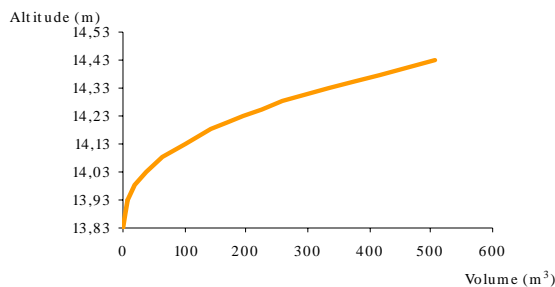


Figura 5 – Curva de armazenamento de água

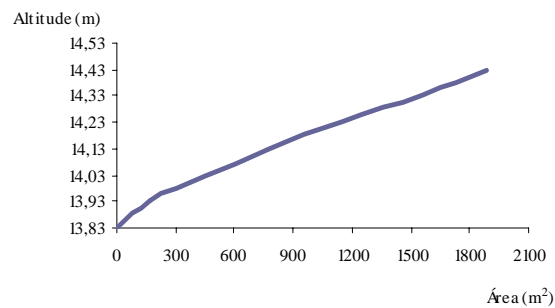


Figura 6 – Área inundável em função da altitude considerada

Observando os hidrogramas de cheia de Giandotti apresentados anteriormente, determinou-se o volume de água afluente à secção para cada um dos períodos de retorno considerados. Apenas foram considerados os períodos de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos, uma vez que não se justificava efectuar os cálculos para períodos de retorno superiores a estes, pelo facto dos mesmos não serem considerados no dimensionamento da rede de colectores.

Obtidos os volumes de água afluentes à secção, determinou-se por extrapolação dos gráficos apresentados nas figuras 5 e 6, as altitudes correspondentes aos volumes dos hidrogramas de cheia, e as alturas de água relativas às altitudes. O quadro 3 apresenta os valores relativamente ao volume de água acumulado, à altitude e à área inundável.

Quadro 3 – Valores obtidos por extrapolação relativamente à altura de água e à área inundável, determinados em função dos volume de água afluente à secção, obtidos a partir dos hidrogramas de cheia de Giandotti, em função do período de retorno considerado.

	T (anos)			
	2	5	10	20
i (mm/h)	6,92	8,71	10,63	12,05
Qp (m³/s)	4,30	5,42	6,61	7,43
Volume afluente à secção (m³)	48,02	60,43	73,78	82,89
Altitude (m)	14,04	14,07	14,09	14,10
Área Inundável (m²)	482,14	600,00	675,00	696,43

A figura 7 representa a área da bacia hidrográfica que seria inundada, consoante o período de retorno considerado.

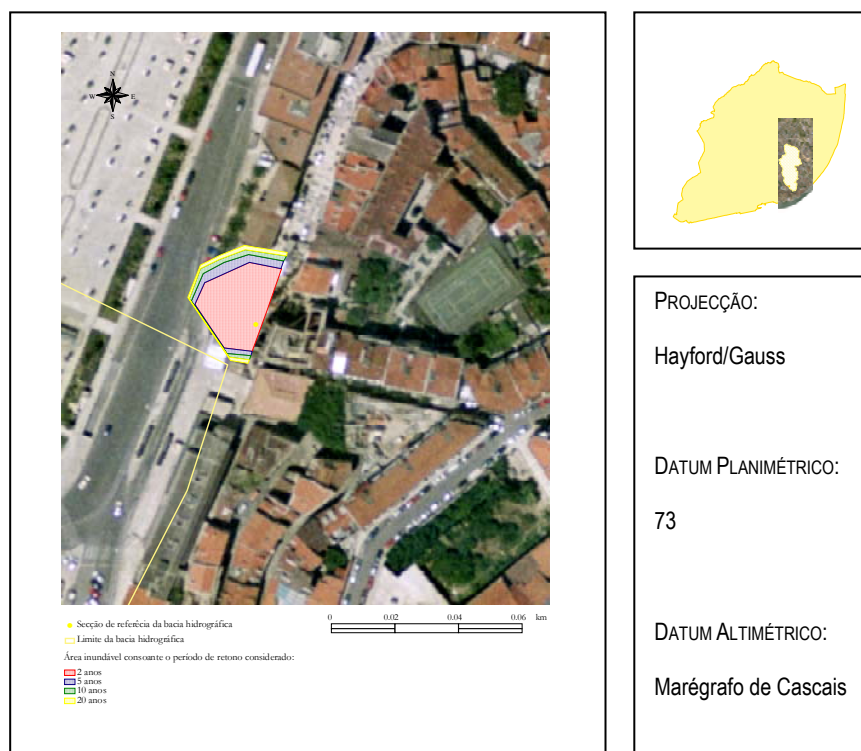


Figura 7 – Área inundável em função dos períodos de retorno considerados, relativamente a uma bacia hidrográfica natural (cenário 0)

5.2.5 Cenário 1 – Bacia hidrográfica urbana

Como referido anteriormente, para este cenário foi determinado o volume afluente à secção, por análise do hidrograma de Giandotti, para os quatro períodos de retorno considerados. Para além disso, determinou-se, por extrapolação, as altitudes correspondentes aos volumes determinados

anteriormente e a área inundável para cada altitude considerada. O quadro 4 apresenta os valores obtidos.

Quadro 4 – Valores obtidos para o cenário 1, tendo em vista a determinação da área inundável

	Período de Retorno (anos)			
	2	5	10	20
Cota da Soleira (m)	13,83	13,83	13,83	13,83
Altura de água - cenário 0 (m)	14,04	14,07	14,09	14,10
Volume de água – cenário 0 (m ³)	48,02	60,43	74,78	82,89
Volume de edificado (m ³)	76,86	90,06	100,96	111,38
Volume total (m ³)	124,88	150,49	175,74	194,27
Altura de água - cenário 1 (m)	14,15	14,19	14,21	14,25
Área inundável (m ²)	889,29	1017,85	1135,71	1350,00

A figura 8 representa a área inundável, tendo em consideração a área ocupada pelo edificado.



Figura 8 – Área inundável para os diferentes períodos de retorno considerados, tendo em consideração o edificado existente (cenário 1)

5.2.6 Cenário 2 – Bacia hidrográfica urbana utilizando um tipo de pavimento permeável

Neste cenário, a metodologia utilizada é igual à utilizada no cenário 1. No entanto, para este cenário é proposto a utilização de um pavimento permeável em 50%, nos locais classificados como parque de estacionamento de superfície, separador central/rotunda e espaço empedrado/alcatroado.

A utilização deste pavimento, é proposto como solução, uma vez que permite a redução do coeficiente de escoamento destas áreas, isto é, permite a redução do contributo destas áreas para o escoamento.

Os resultados obtidos, relativamente ao volume de água e à área inundável são apresentados no quadro 5.

Quadro 5 – Valores obtidos para o cenário 1, tendo em vista a determinação da área inundável

	Período de Retorno (anos)			
	2	5	10	20
Cota da Soleira (m)	13,83	13,83	13,83	13,83
Volume de edificado (m ³)	76,86	90,06	100,96	111,38
Volume de água – cenário 2 (m ³)	42,27	50,87	63,59	69,95
Volume total (m ³)	119,13	140,93	164,55	181,33
Altura de água - cenário 2 (m)	14,15	14,17	14,19	14,22
Área inundável (m ²)	889,29	964,29	1028,57	1178,57

A figura 9 representa a área inundável relativamente a este cenário.

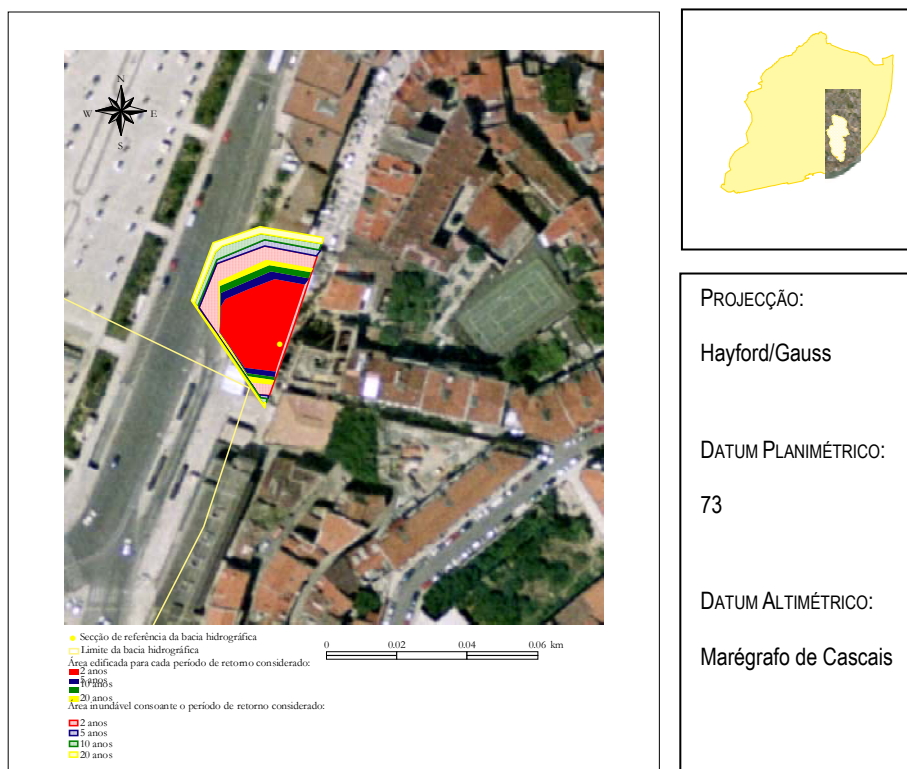


Figura 9 – Área inundável tendo em linha de conta o volume ocupado pelo edificado (cenário 1), para os diferentes períodos de retorno considerados, quando da utilização de um pavimento permeável em 50%.

Fazendo uma análise comparativa relativamente aos resultados obtidos para os diferentes cenários, pode afirmar-se que a utilização de um pavimento permeável diminuiu a área susceptível de ser inundada, para períodos superiores a 5 anos, inclusivé. A figura 10 apresenta a área inundável relativamente aos cenários 1 e 2, por forma a se poder avaliar a contribuição da utilização de pavimento permeável na diminuição da área inundável em função dos períodos de retorno considerados.

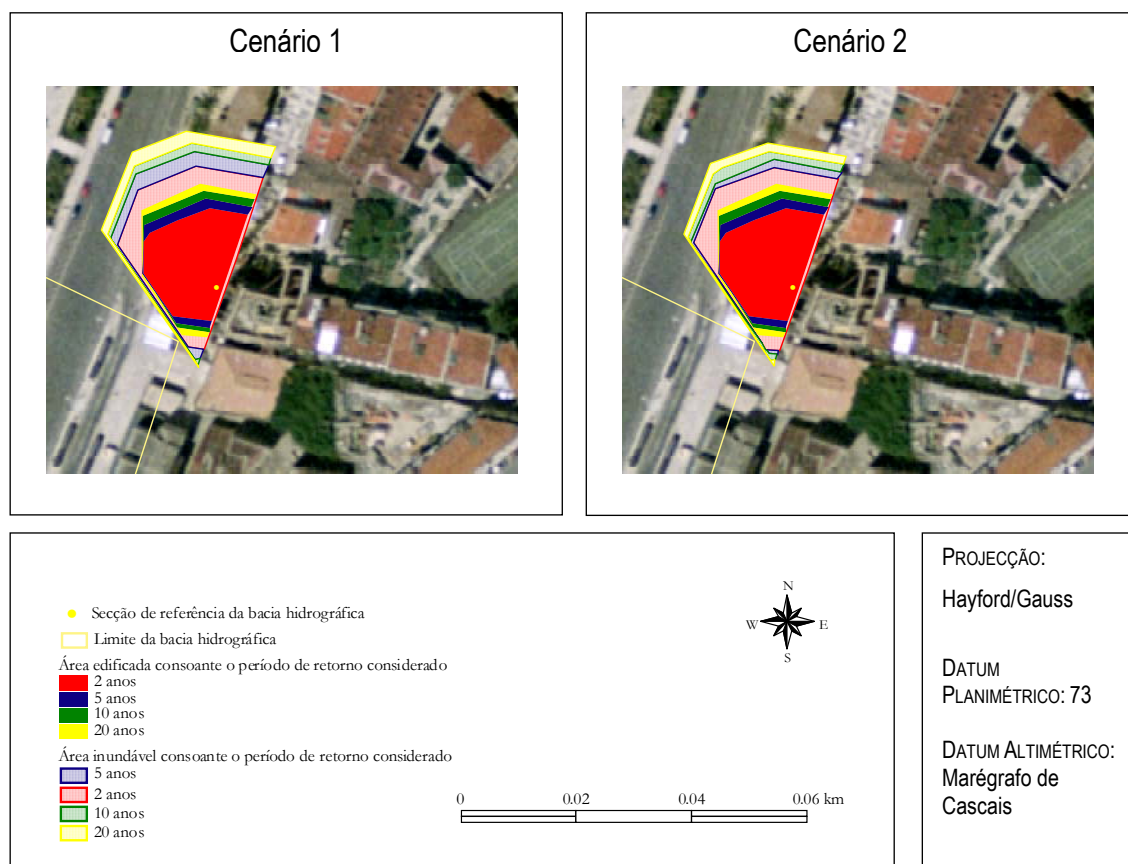


Figura 10 – Comparação das áreas inundáveis para os cenários 1 e 2

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

O estudo e a definição de metodologias de análise relativamente à incidência ao risco de inundação, assumem cada vez maior importância em numerosos aspectos, nomeadamente ao nível da prevenção e da emergência em planeamento.

É importante possuir um conjunto integrado de métodos que possam ser aplicados no estudo da incidência ao risco de inundação, de acordo com os objectivos específicos definidos em cada caso, e dentro dos limites impostos pela quantidade e qualidade dos dados hidrológicos e não hidrológicos disponíveis.

Em Portugal os trabalhos desenvolvidos nesta área são ainda muito poucos, sendo frequentemente realizados estudos de determinação de áreas vulneráveis ao risco de cheias, associado ao aumento rápido e anormal do leito médio das águas de um curso de água.

A resolução desta carência deverá ser resultado de uma articulação e esforço continuado e multidisciplinar, baseado na colaboração dos vários organismos responsáveis pelo estudo destes problemas.

Atendendo aos resultados obtidos, relativamente à avaliação da incidência ao risco de inundação para diferentes cenários, pode afirmar-se que a utilização de um pavimento permeável encontra resultados práticos na redução do escoamento superficial, o que consequentemente se traduz na redução do caudal de ponta afluente à secção, sendo perceptível uma redução da área inundável para períodos de retorno superiores a 5 anos.

O facto da bacia hidrográfica em estudo apresentar uma área diminuta relativamente ao concelho de Lisboa, associado ao facto de se terem obtidos resultados práticos satisfatórios quando da utilização de pavimento permeável, deixa transparecer a ideia de que a utilização deste tipo de pavimento na totalidade do espaço urbano de Lisboa levaria a uma diminuição acentuada da incidência ao risco de inundação.

Deste modo, pode afirmar-se que a utilização de pavimentos permeáveis pode constituir solução prática a considerar em futuros projectos de planeamento e ordenamento.

Contudo, esta solução apresenta ainda algumas limitações, pelo que o seu uso é restrito a áreas e passeios públicos, uma vez que possui baixa capacidade de suporte. Segundo ARAÚJO *et al.* (1999), a sua utilização só é possível em locais de declives suaves, em terreno com boa capacidade de infiltração e cujo lençol freático seja relativamente profundo, por forma a não existirem possibilidades de contaminação do mesmo, pelo que, quando estas condições são conseguidas, a utilização de pavimento permeável apresenta resultados muito satisfatórios relativamente ao custo/benefício comparativamente com outros sistemas.

Algumas das vantagens da utilização deste tipo de pavimento são: redução ou eliminação da rede de drenagem, preservação do equilíbrio natural do local, controle das descargas e do volume do escoamento superficial, remoção de poluentes e uma superfície mais segura para conduzir. No entanto, a utilização deste tipo de dispositivo não apresenta só vantagens, pelo que o elevado grau de entupimento (uma vez que a utilização de pavimento permeável requer a construção de um dispositivo apropriado e a utilização de materiais adequados), a necessidade de inspecções regulares e um possível risco de contaminação das águas subterrâneas, constituem algumas das principais desvantagens (SCHUELLER, 1987 *cit.* ARAÚJO *et al.*, 1999).

Relativamente a trabalhos futuros, espera-se que este trabalho constitua um ponto de partida, assim como uma referência a novos trabalhos desenvolvidos na temática da incidência ao risco de inundação. Para além disso, a procura de novas e cada vez melhores soluções tendo em vista a minimização da incidência ao risco de inundação, constitui-se cada vez mais como um trabalho de extrema importância, uma vez que este risco se encontra sobrelevado devido às características das nossas sociedades, numa tentativa de procura de melhor qualidade de vida.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho, só foi possível graças à Câmara Municipal de Lisboa, em especial ao Serviço Municipal de Protecção Civil, na pessoa da Dra. Maria João Telhado, que permitiu e acompanhou a realização do estágio que permitiu a elaboração do trabalho aqui presente. Para além disso, agradece-se ainda à Eng. Maria Madalena Moreira, do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de Évora, que acompanhou o presente trabalho e que sem o devido esforço e compreensão, tal não seria possível.

BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. (1999) – *Análise da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial*. Comunicação apresentada na IV SILUSBA. Brasil.
- BRANDÃO, C.; RODRIGUES, R.; PINTO DA COSTA, J. (2001) – *Análise de Fenómenos Extremos. Precipitações Intensas em Portugal Continental*. Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos. Instituto da Água. Lisboa.
- CORREIA, F. N. (1983) – *Métodos de Análise e Determinação de Caudais de Cheia*. Tese apresentada a concurso para Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Ministério da Habitação e Obras Públicas. Lisboa.
- COSTA, B. (2000) – *Por ribeiras antes navegadas*. Artigo publicado na revista FOCUS. Janeiro.
- MATOS, M. R. (2000) - *Gestão Integrada de Águas Pluviais em Meio Urbano. Visão Estratégica e Soluções para o Futuro*. Programa de Investigação Apresentado a Concurso para Provimento na Categoria de Investigador Coordenador. Teses e Programas de Investigação. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- Serviço Nacional de Protecção Civil (1984) - *Glossário de Termos*. Assistência Internacional às Catástrofes. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa
- Serviço Municipal de Protecção Civil (2001)–*“Todos somos responsáveis”*. Câmara Municipal de Lisboa. Gráfica Europam. Lisboa.
- TELHADO, M. J. (1998)–*“Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica na Análise do Risco de Inundação no Concelho de Lisboa”*. Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica. Instituto Superior Técnico. Lisboa.