

RISCO DE CHEIAS E INUNDAÇÕES NA CIDADE DE SETÚBAL

Remo António Duarte dos Reis Leandro

Provas destinadas à obtenção do grau de Mestre em Riscos e Proteção Civil
Junho de 2013



INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS

INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS

Escola Superior de Segurança, Tecnologia e Aviação

Provas no âmbito do Mestrado em Riscos e Proteção Civil

RISCO DE CHEIAS E INUNDAÇÕES NA CIDADE DE SETÚBAL

Autor: **Remo António Duarte dos Reis Leandro**

Orientador: **Professor Doutor Rui Raposo Rodrigues**

Junho de 2013

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Doutor Rui Raposo Rodrigues, pelo imprescindível e valioso apoio prestado em todas as fases de execução desta dissertação. As reuniões efetuadas ao longo da elaboração deste trabalho, foram fundamentais para o resultado final aqui apresentado, a minha sincera gratidão e profundo reconhecimento.

Aos meus colegas de trabalho, em especial ao Engenheiro Nuno Sousa, ao Mestre Jorge Parrulas e ao Coordenador do Serviço José Luís Buchó, que contribuíram não só durante o período da elaboração da tese, mas ao longo destes vinte anos de exercício da minha profissão na Companhia de Bombeiros Sapadores de Setúbal e no Serviço Municipal de Proteção Civil de Setúbal, na partilha de conhecimentos e experiências.

Aos meus colegas de mestrado, em particular ao Jorge Parrulas na parte curricular do mestrado, pela troca de ideias e partilha do estudo.

Ao Engenheiro Alexandre Aleluia da Câmara Municipal de Setúbal, pelo apoio dado.

À minha família, nomeadamente à minha esposa Maria e ao meu filho Luís, que sempre me apoiaram, ouvindo os meus desabafos, frustrações e que partilharam das minhas preocupações, durante todo este tempo, dando-me o maior apoio mesmo quando me sentia cansado e sem forças.

A todos os meus amigos que, de uma forma ou de outra, com preocupação e interesse, me apoiaram ao longo da elaboração desta dissertação.

Aos professores do Mestrado de Riscos e Proteção Civil, pelos conhecimentos e experiências transmitidas.

Ao Instituto Superior de Educação e Ciências, que ajudou nesta etapa da minha vida.

Resumo

As inundações urbanas traduzem-se num dos mais importantes impactos sobre a sociedade. No contexto atual, diversas medidas de prevenção e proteção contra cheias urbanas são adotadas, em geral, medidas de carácter corretivo. As medidas podem ser estruturais (quando modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das cheias) e não-estruturais (melhor convivência da população com as cheias). Este projeto tem como objeto principal a elaboração de um plano de medidas de prevenção contra a ocupação dos espaços de riscos de cheias, através de medidas estruturais e não-estruturais, associadas ou não, para a Cidade de Setúbal, que apresenta tendências a cheias por ocupar, na sua maioria, as planícies de inundação de importantes cursos de água. Diversos problemas podem estar associados à ocorrência desses eventos: ocupação inadequada dos leitos dos rios; falta de recursos para habitação e saneamento; falta de planeamento de ocupação do espaço urbano; e inexistência de sistemas de alerta em catástrofes e de planos de desocupação de áreas atingidas. Portanto, são apresentadas soluções práticas e eficientes para o melhor aproveitamento das áreas de risco, o que possibilitará uma melhor qualidade de vida no meio urbano. A participação efetiva do poder público e dos órgãos responsáveis pela gestão ambiental e urbana na implementação de uma política de educação ambiental e na elaboração de um plano diretor que priorize o controlo de inundação no meio urbano deve ser imprescindível.

PALAVRAS-CHAVES: inundações urbanas; medidas de proteção e controle; bacias de Setúbal

Abstract

The urban floods translate into one of the most important impacts on society. In the current context, various preventive measures for flood protection and urban are adopted, most general, corrective measures. The measures may be structural (when they modify the river system avoiding losses from the floods) and nonstructural (better coexistence with the flooding of the population). This project has as its main goal to developing a plan of action of prevention against the occupation of flood risk areas through structural and non-structural, measures associated or not, for the city of Setúbal, which occupies mostly the flood plains of major streams water. Several problems may be associated with these events: inadequate occupation of riverbeds; lack of resources to housing and sanitation; lack of planning occupation of urban space; and lack of warning systems in disaster plans and evacuation of affected areas. Therefore, we present practical and efficient solutions for the best use of risk areas, which will enable a better quality of life in urban areas. Effective participation of the government and the agencies responsible for environmental management and urban policy in the implementation of environmental education and the development of a master plan that prioritizes flood control in urban areas should be paramount.

Keywords: *urban flooding; protective measures and control; Setúbal basins.*

Índice

1. Introdução.....	1
2. Enquadramento teórico	3
2.1. Risco e vulnerabilidade: definições e conceitos.....	3
2.2. Análise e Planeamento de risco.....	6
2.2.1. Análise de Risco.....	6
2.2.2. Planeamento de Risco.....	9
2.2.3. Matriz de Risco	11
3. Estudos prévios	13
4. Metodologia.....	27
4.1. Caudais de ponta de cheia	27
4.1.1. Cálculo do Caudal a Escoar	29
4.1.1.1. Intensidade de precipitação	29
4.1.1.2. Coeficientes de escoamento.....	30
4.1.1.3. Metodologia de cálculo dos caudais	31
4.1.1.4. Capacidade Hidráulica dos Coletores	32
4.1.1.5. Relação Entre o Caudal a Escoar e a Capacidade Hidráulica dos Coletores	32
4.2. Cenário	32
4.3. Matriz de Risco	33
5. Estudo de Caso.....	39
5.1. Sistematização da Informação Existente	40
5.2. Caracterização de Base Para Determinação do Risco	41
5.2.1. População.....	41
5.2.2. Enquadramento Físico	43
5.2.2.1. Geologia	43
5.2.2.2. Hidrogeologia	44
5.2.2.3. Geomorfologia.....	45
5.2.3. Clima	47
5.2.3.1. Temperatura do ar.....	47
5.2.3.2. Vento.....	48

5.2.3.3. Precipitação	48
5.3. Zonas Ameaçadas por Cheias	50
5.4. Ribeira da Figueira / Livramento	56
5.4.1. Rede hidrográfica Natural.....	56
5.4.2. Áreas de drenagem	58
5.4.3. Caracterização da rede hidrográfica	59
5.4.4. Caracterização do comportamento da rede hidrográfica. Identificação de pontos críticos.....	59
5.4.4.1. Breve caracterização da bacia.....	59
5.4.4.2. Ribeira da Figueira.....	61
5.4.4.3. Ribeira do grelhal.....	66
5.4.4.4. Ribeira de São Paulo	67
5.4.4.5. Barranco do forte velho.....	70
5.4.4.6. Ribeira do Livramento	71
5.4.5. Caudais de ponta de cheia.....	79
5.5. Identificação de pontos críticos e medidas de intervenção propostas	81
5.5.1. Sistema de Drenagem Pluvial da Área de Drenagem de Livramento / Figueira	81
5.6. Elementos expostos nas zonas ameaçadas por cheias	85
5.7. Capacidades de Vazão	86
5.8. Zonas de risco – Carta de Risco	95
6. Considerações finais.....	97
6.1. Medidas gerais.....	98
6.2. Perspetivas futuras.....	98
7. Conclusão	101
8. Referências bibliográficas	103
9. Anexos.....	109
Anexo 1 - Mapa 2, Mapa 3, Mapa 4	
Anexo 2 – Mapa 1	
Anexo 3 – Mapa 5	

Índice de figuras

Figura 1 - Esquema da rede de coletores pluviais principais da cidade de Setúbal.....	18
Figura 2 - Principais zonas com risco de inundação.....	21
Figura 3 - Representação esquemática da alternativa A1	25
Figura 4 - Representação esquemática da alternativa A2	25
Figura 5 - Matriz de risco	34
Figura 6 - Gráfico de altura de água invertido e graus de risco nas pessoas.....	37
Figura 7 - Altura de água nos elementos expostos e graus de risco	38
Figura 8 - " Carta de Zonas Inundáveis do Concelho de Setúbal para o período de 100 anos"	51
Figura 9 - Zonas ameaçadas pelas cheias.....	53
Figura 10 - Ribeiras afluentes à cidade de Setúbal.....	55
Figura 11 - Limites de concelho e freguesias. Áreas de drenagem e rede hidrográfica .	59
Figura 12 - Bacias hidrográficas das ribeiras da Figueira e Livramento	61
Figura 13 - Perfil longitudinal da ribeira do Livramento para montante da entrada em canalização coberta.	73
Figura 14 - Atravessamentos 1 a 5 desde a projetada bacia de retenção até ao acesso à Quinta dos Ciprestes.	74
Figura 15 - Rede de drenagem de coletores pluviais designada F1.....	82
Figura 16 - Redes de drenagem de coletores pluviais designadas F2 e F2A	82

Índice de quadros

Quadro 1 - Parâmetros que evoluem a análise de risco.	6
Quadro 2 - Categorias do Risco.....	8
Quadro 3 - Estimativa da capacidade de vazão dos troços principais da rede de coletores da Cidade de Setúbal.....	16
Quadro 4 - Principais problemas do comportamento hidráulico da Área de Drenagem Livramento / Figueira e respetivas soluções preconizadas	21
Quadro 5 - Principais zonas identificadas com inundação no passado.....	23
Quadro 6 - Intensidade da precipitação.....	29
Quadro 7 - Coeficientes de escoamento.....	31
Quadro 8 - Grau de Gravidade, Critérios de Definição	35
Quadro 9 - Grau de Probabilidade, Critérios de definição	36
Quadro 10 - População residente no Concelho e respetiva variação.....	41
Quadro 11 - População residente nas freguesias do concelho de Setúbal (Censos 2001-2011)	42
Quadro 12 - Principais cursos de água que se desenvolvem na área do concelho	46
Quadro 13 - Temperatura do ar e número de dias com temperatura do ar mínima e máxima em Setúbal.....	47
Quadro 14 - Precipitação mensal média, máxima diária e número de dias com diferentes intensidades de precipitação em Setúbal.....	49
Quadro 15 - Principais características geomorfológicas da rede de drenagem em secções consideradas de maior importância.....	60
Quadro 16 - Dimensões características do leito menor da ribeira da Figueira.....	63
Quadro 17 - Principais passagens hidráulicas na ribeira da Figueira	65
Quadro 18 - Dimensões características do leito menor da ribeira do Grelhal	66
Quadro 19 - Principais passagens hidráulicas na ribeira do Grelhal e afluentes.....	67

Quadro 20 - Dimensões características do leito menor da ribeira de São Paulo.....	68
Quadro 21 - Principais passagens hidráulicas na ribeira de São Paulo.....	70
Quadro 22 - Dimensões características do leito menor da ribeira do Forte Velho	71
Quadro 23 - Principais passagens hidráulicas da ribeira do Forte Velho	71
Quadro 24 - Dimensões características do leito menor da ribeira do Livramento	75
Quadro 25 - Principais passagens hidráulicas na ribeira do Livramento e afluente.....	76
Quadro 26 - Dimensões características do leito menor da ribeira da Gamita	78
Quadro 27 - Principais passagens hidráulicas na ribeira da Gamita.....	78
Quadro 28 - Caudais de ponta de cheia. Livramento / Figueira.....	80
Quadro 29 - Área de Drenagem de Livramento / Figueira. Características hidráulicas das redes pluviais	83
Quadro 30 - Área de Drenagem de Livramento / Figueira. Identificação de zonas críticas	84
Quadro 31 - Edificado e população residente em zonas ameaçadas por cheias, por freguesia do concelho de Setúbal	86
Quadro 32 - Análise das capacidades de vazão máximas das passagens hidráulicas localizadas na área de drenagem da Figueira/Livramento e comparação com os caudais afluentes para T = 100 anos.....	87
Quadro 33 - Visita ao local com recolha de informação sobre cheias.....	88
Quadro 34 - Resultados da simulação efetuada para os caudais afluentes para T = 100 anos referentes à situação atual	92
Quadro 35 - Principais problemas do comportamento hidráulico da Área de Drenagem Figueira / Livramento e respetivas soluções preconizadas	94

Índice de ilustrações

Ilustração 1 - Confluência da ribeira do Grelhal com a ribeira da Figueira.....	62
Ilustração 2 - Canal trapezoidal revestido a montante e seguidamente em terra, ao longo da Estrada Nacional EN 10. Vistas para jusante.....	62
Ilustração 3 - Sequencialmente 3 a 10 de jusante para montante (desde a confluência da ribeira do Grelhal até à entrada na rede de coletores) leito principal da ribeira da Figueira	64
Ilustração 4 - Aspeto da ribeira do Grelhal, no trecho final.....	66
Ilustração 5 - Ribeira de São Paulo no Jardim de Vanicelos, desde a entrada em coletor sob a Estrada até ao extremo final de entrada na rede de coletores da Cidade de Setúbal.	69
Ilustração 6 - Barranco do Forte Velho. Vista para montante.....	70
Ilustração 7 - Ribeira do Livramento desde a entrada na rede de coletores até ao trecho contíguo à Estrada Nacional EN 252.	74
Ilustração 8 - Confluência da ribeira da Gamita com a ribeira do Livramento junto da Estrada Nacional EN 252. Vista de jusante.....	75
Ilustração 9 - Fotografias 23 a 35	91

Lista de Siglas e Abreviaturas

A - área da bacia hidrográfica;

ANPC - Autoridade Nacional de Proteção Civil

C - coeficiente da fórmula racional;

C_j - Cota de jusante;

C_m - Cota de montante;

d - densidade de drenagem;

dm - Declive médio do curso de água principal;

H - diferença de cotas do talvegue do curso de água principal na secção de maior cota e na secção final que define a bacia hidrográfica;

HEC – RAS - Modelo computacional Hydrologic Engineering Center;

hm - Altura média da bacia hidrográfica;

I - Intensidade de precipitação;

I-D-F - Intensidade-Duração-Frequência;

INAG - Instituto da Água;

INE - Instituto Nacional de Estatística;

J - Inclinação;

K - Coeficiente de rugosidade;

L - Comprimento da linha de água;

L - Desenvolvimento do curso de água principal;

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

MIL-STD-882 - Norma Militar Americana;

ONU - Organização das Nações Unidas;

PDM - Planos Diretores Municipais;

PU - Posto udométrico;

Q - Caudal;

Qp - Caudal de ponta de cheia;

R - Raio hidráulico;

SCS - Soil Conservation Service;

t - Duração da chuvada;

T - Período de retorno;

tc - Tempo de concentração;

ZAC - Zonas Ameaçadas por Cheias.

1. Introdução

A inundação urbana   um evento tão antigo quanto as cidades ou aglomerações urbanas. Este evento, que ocorre naturalmente, quando o excesso do volume da chuva que não consegue ser drenado ocupa a várzea e inunda, as áreas próximas às mesmas (inundações ribeirinhas), pode ser amplificado pelo efeito da altera o produzida pelo homem na urbaniza o devido   impermeabiliza o das superfícies e canaliza o das linhas de  gua.

As inundações em áreas urbanas representam um grave perigo, uma vez que atingem áreas densamente ocupadas ocasionando prejuízos consideráveis e irreparáveis para a popula o. Um conjunto de fatores pode ser relacionado quanto   ocorrência das inundações. Certamente, um dos mais preocupantes   a falta de planejamento para ocupa o de bacias hidrográficas, resultando a ocupa o de áreas consideradas de risco de inunda o.

Quando a frequência das inundações   baixa, a popula o ganha confiança e despreza o risco, aumentando significativamente a densifica o urbana das áreas inundáveis. O problema das inundações urbanas   complexo uma vez que envolve a es multidisciplinares e abrangentes sobre a bacia hidrográfica como um sistema integrado e dinâmico. A es isoladas podem apenas transferir de local as inundações.

Para a mitiga o de inundações em bacias urbanizadas, diversas alternativas estruturais associadas a a es não-estruturais podem ser aplicadas, desde a realoca o humana até ao próprio convívio com o problema. Desta forma, a elabora o de um Plano de Controlo de cheias de uma cidade ou região metropolitana deve considerar as bacias hidrográficas sobre as quais a urbaniza o se desenvolve. Diversos meios associados podem garantir um desenvolvimento sustentável e racional possibilitando um crescimento urbano e conseqüente melhoria de vida para a popula o.

As a es públicas, em muitas cidades, estão indevidamente voltadas para medidas estruturais com visão pontual. A canaliza o tem sido uma medida utilizada extensamente para transferir o problema de um ponto a outro na bacia, sem que sejam avaliados os efeitos para jusante ou os reais benefícios das obras. Esse processo   prejudicial aos interesses públicos e representa um prejuízo extremamente alto para toda a sociedade ao longo do tempo. Quanto a medidas não-estruturais, para as áreas

consideradas de risco, isto é, nas planícies de inundação, normalmente são adotadas soluções de caráter preventivo de modo a reduzir os danos causados pela inundação como: regulamentação da ocupação da área de inundação, previsão de cheia e plano de evacuação, entre outras. No entanto, uma sequência de anos sem inundação é motivo para os grupos de interesse do setor imobiliário pressionarem o poder público para que haja ocupação maior do leito do rio.

Para a implementação de medidas, sejam elas estruturais ou não-estruturais, diversos fatores devem ser levados em consideração: aspetos ambientais, hidrológicos, uso e ocupação do solo, características socioeconómicas. Estes fatores garantem uma gestão adequada e eficiente considerando os seus aspetos naturais e locais possibilitando, assim, uma melhor convivência com tais fenómenos.

A pergunta de partida para a investigação é: Para uma dada área de inundação associada a um período de retorno como graduar e mapear o risco?

São objetivos deste trabalho a análise e a avaliação de risco na ocorrência de eventos extremos hidrometeorológicos, a problemática de inundações e cheias bem como a elaboração de cartas de risco de inundações e cheias na cidade de Setúbal.

Será contemplado um esboço de plano de medidas que considere os aspetos de prevenção contra a ocupação dos espaços de riscos de cheias, através de medidas estruturais e/ou não-estruturais, associadas ou não.

O trabalho está dividido em capítulos que são: o capítulo 1, Introdução que trata da justificação do tema a estudar e os objetivos do trabalho. O capítulo 2 é constituído pelo enquadramento, onde se revê os conceitos e a temática do risco. No capítulo 3 são elencados os estudos prévios anteriormente efetuados e as suas conclusões para a mesma área de estudo. O capítulo 4 descreve a metodologia seguida para os caudais de ponta de cheia, o cenário e a matriz de risco. O capítulo 5 aborda o estudo de caso que compreende a Ribeira da Figueira e a Ribeira do Livramento, caracterizando as bacias e identificando as zonas de risco que podem afetar pessoas. No capítulo 6 são efetuadas as considerações finais onde se elenca alguns constrangimentos ao estudo, foi dado especial realce na análise e identificação das medidas de minimização a adotar nas áreas críticas e as perspetivas futuras. O capítulo 7 apresenta as conclusões, sendo que diversos problemas estão associados quanto à ocorrência destes eventos.

2. Enquadramento teórico

2.1. Risco e vulnerabilidade: definições e conceitos

Antes de prosseguirmos, é fundamental esclarecer algumas dúvidas existentes, entre alguns termos associados à prevenção de desastres graves ou catástrofes, considerados por muitos autores como sinónimos. Referimo-nos concretamente aos termos: “*acidente*”, “*perigo*” e “*risco*”.

Em relação ao termo, de “*acidente*”, cuja tradução em Inglês é “*accident*”, a noção mais corrente é aquela que envolve um acontecimento que, provocado por uma ação violenta e inesperada ocasionada por um agente externo involuntário resulta numa lesão. Já o termo “*perigo*” (em Inglês *hazard*) significa alguma coisa que pode causar determinado dano (oxford ed., 1990). Esta confusão semântica também é observada na língua Portuguesa. Segundo o dicionário Aurélio (Ferreira, 1986), o termo “*acidente*” tem origem no termo latim *accīdens*, faz referência à qualidade ou ao estado que é ocasionado em algo, sem que seja parte da sua essência ou natureza; ao acaso que altera a ordem regular das coisas; e ao acontecimento eventual ou à ação de que, involuntariamente, resultam danos para as pessoas ou as coisas. Pelo contrário, o termo *perigo* (do latim *periculu*), é uma circunstância que prenuncia um mal para alguém ou para alguma coisa.

Deste modo, através desta análise, verifica-se que a expressão “*perigo*”, além de não ser sinónimo de “*ameaça*”, é a tradução mais fidedigna para o termo em Inglês de “*hazard*”. Para além que, o significado de perigo se enquadra perfeitamente no conceito aceite pela Organização das Nações Unidas (ONU), como sendo um fenómeno físico ou um processo natural potencialmente prejudicial, que pode causar sérios danos socioeconómicos às comunidades expostas (ISDR, 2004; UNDP, 2004).

Relativamente ao termo “*risco*”, este *significa* o grau de prejuízo esperado devido a um fenómeno particular (“*the expected degree of loss due to a particular phenomenon*”)

ou seja a probabilidade (mensurável) de um perigo se materializar num desastre grave ou numa catástrofe (ISDR, 2004; UNDP, 2004). Assim, quando se fala de risco, remetemo-nos para acontecimentos futuros, isto é, são possibilidades futuras às quais estão associadas ideias de probabilidade, de incerteza, de contingência, de ambivalência e, em certas situações, de vulnerabilidade e de acaso, assumindo um papel

preponderante na reorientação das relações das pessoas com eventos futuros (Areosa, 2005).

Quanto ao conceito de “*vulnerabilidade*”, este foi desenvolvido fundamentalmente para designar populações e regiões que possuem maiores dificuldades em absorver os impactos de determinados eventos catastróficos. Em outras palavras, a “*vulnerabilidade*” pode ser definida como as características de uma pessoa ou grupo populacional “*desde seu ponto de vista de sua capacidade de antecipar, sobreviver, resistir e recuperar-se do impacto*” de algum evento, como desastres graves ou catástrofes naturais ou tecnológicos (Blaikie, Cannon, Davis & Wisner, 1996). Tais desastres ou eventos catastróficos podem estar relacionados tanto a riscos físicos naturais (como terremotos, ciclones, vulcões e inundações), biológicos (como pandemias), tecnológicos (como as explosões, incêndios e contaminações nucleares ou químicas) e sociológicos (como os conflitos civis, guerras, fome e mortes por desnutrição). No entanto, (como referido anteriormente) os autores salientam que, embora existam divisões na análise dos eventos catastróficos naturais (cuja etiologia do evento tende a ter uma menor influência antropocêntrica) e tecnológicos (sempre de origem antropocêntrica), existe uma tendência moderna de se abordar ambos os eventos pelo mesmo referencial teórico. Isto ocorre devido ao reconhecimento de que, cada vez mais, os eventos naturais tendem a ser produzidos em decorrência da ação do homem e que em ambos os casos – naturais ou tecnológicos – processos políticos, sociais e económicos encontram-se normalmente por detrás do aparecimento e agravamento destes eventos. Neste contexto, (Dubois - Maury e Chaline, 2002), acrescentam que a “*vulnerabilidade*” aos riscos, sejam eles endógenos ou exógenos, é uma noção complexa porque pode ter conteúdos humanos, económicos, patrimoniais, tecnológicos e organizacionais que se diversificam em escalas espaciais e temporais variáveis.

Deste modo, o poder económico e político, assim como as redes de proteção civil, configuram-se como chaves no entendimento da vulnerabilidade e na avaliação da vulnerabilidade da população a um evento adverso. Esta avaliação, segundo (Grange e Hayne, 2001), deve-se concentrar nos seguintes fatores:

- O cenário: O ambiente físico (por exemplo o clima e topografia), as estruturas de proteção civil, a população e sua distribuição geográfica;
- As edificações: Os edifícios de habitação, local de trabalho e áreas de lazer;

- A subsistência: infraestruturas de serviço, abastecimento de água e luz, sistema de esgotos e telecomunicações;
- A segurança: A disponibilidade de instalações tal como os hospitais, corporações de bombeiros, entre outros;
- A sociedade: fator que inclui as medidas mais intangíveis tais como a linguagem, etnia, religião, nacionalidade, comunidade, educação, atividades culturais, ou outras.

Estes dados, fornecem uma descrição quantitativa de forma detalhada de aspetos específicos das regiões classificadas de risco e permite identificar áreas geográficas consideradas de risco para a comunidade.

Ou seja, podemos depreender que a “*vulnerabilidade*” pode ser dividida em dois grupos: a vulnerabilidade social – mais vinculada aos grupos populacionais vulneráveis em áreas de risco, e a vulnerabilidade institucional – vinculada ao funcionamento dos mecanismos da sociedade de atuarem na prevenção e mitigação dos eventos catastróficos, através de políticas públicas e das instituições, que atuam junto dos condicionantes estruturais diminuindo a vulnerabilidade de certos grupos populacionais (Winchester, 1992; De Marchi, Funtowicz & Ravetz, 2000; Freitas *et al.*, 2000).

Para finalizar, apesar das múltiplas definições que se podem encontrar nos textos e revistas especializadas, dos termos perigo, vulnerabilidade e risco (utilizados por diversas ciências sugerindo-nos que sejam polissémicos), existe um aspeto em que todos os autores das diversas ciências estão de acordo: Há atualmente uma tendência para a não-aceitação neutra dos riscos, os quais se tornam domínio de investigação exigindo uma compreensão racional das causas e da estrutura dos mesmos (Almeida *et al.*, 2003). Falamos especificamente nas medidas preventivas, ou seja, de “análise de risco” e “planeamento de risco”, conceitos que pressupõem uma (certa) capacidade de controlo sobre o risco possibilitando que o homem seja capaz de identificar, mensurar e calcular as melhores estratégias para evitar ou minimizar a probabilidade da sua ocorrência.

2.2. Análise e Planeamento de risco

2.2.1. Análise de Risco

(Colt, 2006), diz-nos que o conceito “*Análise de Risco*”, pode ser entendido como o processo que identifica e avalia de forma sistemática, metodológica e recetível os riscos, possibilitando fornecer elementos básicos de segurança inerentes a determinado sistema, operação e ou atividade. Para a autora, esta avaliação e identificação parte de dois componentes fundamentais: a avaliação de vulnerabilidades e a avaliação dos riscos. Na avaliação de vulnerabilidades, é fundamental conhecer o grau de exposição da população ou da infraestrutura existente à fonte potencial de risco, assim como a sua capacidade de resposta, enquanto na avaliação dos riscos, é crucial conhecer a fonte potencial que pode provocar o desastre grave ou a catástrofe. Ou seja, trata-se de um dos principais passos, que irá determinar as demais etapas do processo de gestão do risco, envolvendo basicamente o inventário dos perigos, o estudo da vulnerabilidade e a cartografia das áreas de risco (Pearson, Wadge & Wiscoski, 1991; Smith, 2000; Balaji, Sankar & Karthi, 2005), como se pode observar através do quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros que envolvem a análise de risco.

Perigo	Vulnerabilidade	Risco
É a probabilidade de que um fenómeno de origem natural ou causado pela ação humana ocorra num determinado tempo e região.	São as condições sócio culturais, económico-produtivas e organizativo-institucionais desfavoráveis, nas quais se encontra a população para enfrentar um perigo.	É a probabilidade de estragos e/ou perdas sociais, económico-produtivas e ambientais, diante da materialização de um perigo e a existência de condições de vulnerabilidade.

Fonte: Colt – *A gestão do risco de desastres como parte do planeamento local*, 2006.

No entanto, devido à enorme complexidade de variáveis e tipos de dados, assim como o modo de quantificação, as avaliações de risco geralmente envolvem algumas incertezas. (Balaji *et al*, 2005), referem que os principais dados requeridos numa avaliação de risco são:

- Dados sobre o perigo: tipo, data, local de ocorrência, frequência, magnitude, etc.
- Dados sobre o ambiente: geologia, geomorfologia, hidrologia, climatologia, uso do solo, etc.
- Dados sobre a exposição local: infraestrutura urbana, edificações, população, dados socioeconómicos, etc.

E sempre que possível, devem ser utilizados na avaliação de risco, dados quantitativos, de fontes oficiais ou confiáveis, factos históricos e métodos de análise que envolvam modelos matemáticos e físicos. A intenção é que a avaliação se torne passível de repetição e comparação, refletindo de forma mais clara a realidade do local em estudo e não a percepção do especialista responsável pela mesma. (Murck, Skinner e Porter, 1996), acrescentam que a análise de risco (*risk analysis*), compreende de um modo genérico, diversas etapas: o cálculo da probabilidade com que um determinado evento possa acontecer com um determinada grandeza ou intensidade; a quantificação da exposição potencial do homem e das estruturas aos efeitos físicos do evento em análise; a análise da relação entre a ocorrência do evento e a localização das estruturas potencialmente envolvidas, dos sistemas de emergência e a comunidade e a quantificação da vulnerabilidade da comunidade ao evento e o cálculo do potencial impacto económico e social que o mesmo evento pode desencadear.

Porém, (De Cicco e Fantazzini, 1993), numa tentativa de sistematizar procedimentos, apresentam uma técnica de análise de risco denominada “*Análise Preliminar de Risco*”. Esta técnica, consiste basicamente durante a fase de conceção ou desenvolvimento de um sistema de emergência, determinar os riscos que poderão estar presentes na sua fase operacional. Tendo sido adaptada a partir de uma norma Militar Americana (MIL-STD-882), possibilita a partir da descrição dos riscos identificar as causas (agentes) e efeitos (consequências) dos mesmos, o que permitirá a elaboração de ações e medidas de prevenção das possíveis falhas detetadas. Além disso, estabelece prioridades no planeamento das ações de socorro e de recuperação das comunidades vitimadas, assim como, a distribuição adequada dos recursos disponíveis (meios logísticos e recursos humanos) em caso de ameaça ou desastre efetivo. Ou seja, há uma categorização dos riscos e em função desta, é determinada a prioridade das ações (Quadro 2).

Quadro 2 - Categorias do Risco

Categoria	Tipo	Características
I	Desprezível	- Não degrada o sistema, nem o seu funcionamento; - Não ameaça os recursos humanos.
II	Marginal ou Limítrofe	- Degradação Moderada/danos menores; - Não causa lesões; - É compensável ou controlável.
III	Critica	- Degradação crítica; - Lesões - Danos substanciais; - Coloca o sistema em risco e necessita de ações corretivas imediatas para a sua continuidade e recursos humanos envolvidos.
IV	Catastrófica	- Será a degradação do sistema; - Perda do sistema; - Mortes e lesões

Fonte: De Cicco e Fantazzini, 1993.

No entanto, segundo os mesmos autores, esta técnica encontra-se dependente de alguns princípios para uma garantia da sua eficácia. A sua aplicabilidade restringe-se apenas à elaboração de sistemas de emergência, que sejam já bastante conhecidos, cuja experiência acumulada conduz a um grande número de informações sobre riscos inerentes.

Em suma, apesar das proposições científicas que decorrem de inferências dedutivas, a análise de risco é tida como uma ferramenta simples e direta, com o objetivo de identificar e avaliar os riscos, possibilitando a sua gestão (Murck *et al*, 1996).

2.2.2. Planeamento de Risco

Relativamente ao conceito de “*planeamento de risco*” e voltando às reflexões de (Colt 2006), este pode ser entendido por planeamento e execução de ações para evitar ou diminuir os efeitos de um desastre grave ou uma catástrofe de forma integral, procurando instrumentos de prevenção e preparação destinados a incorporar um plano estratégico de gestão de risco. A Organização das Nações Unidas (1991), refere que é fundamental o conhecimento dos riscos específicos, a identificação dos elementos em risco e a avaliação e quantificação das suas vulnerabilidades para um planeamento eficaz e de prevenção e proteção.

No entanto, (Lavell, 2003), refere que a gestão de risco de um evento adverso em geral, pode ser considerado um processo social relativamente complexo que procura por um lado, reduzir os níveis existentes de risco do evento em si, e por outro, a previsão e controlo de riscos futuros na sociedade. Este processo implica a realização de séries concatenadas de estratégias, instrumentos ou ações de controlo e redução do risco, que incluem:

- A construção de cenários de risco para áreas, sectores ou populações delimitadas, tendo em conta determinados fatores de ameaça e vulnerabilidade, assim como os atores e processos sociais que estão por detrás, e o contexto de desenvolvimento onde o risco se manifesta;
- As decisões sobre os níveis aceitáveis ou inaceitáveis de risco, tendo em conta o contexto social, económico, cultural e político onde o risco se manifesta;
- A identificação de estratégias, instrumentos ou atividades para controlo ou redução do risco potencial, e a discussão e negociação de soluções viáveis e eficazes;
- E, a implementação das estratégias e medidas de redução do risco escolhidas. Acrescenta ainda, que o planeamento do risco de um evento adverso não substitui a noção de prevenção ou mitigação do mesmo, e que está presente em todas as fases incluídas na noção tradicional do ciclo de catástrofe. Segundo o autor, pode-se falar de redução, previsão e controlo do risco em contexto de pré-impacto ou em qualquer outro estágio de uma situação de catástrofe. Ou seja, o risco está presente em todas essas fases em constante mudança e evolução, requerendo apenas diferentes abordagens e tipos de intervenção.

Quanto às principais características ou parâmetros da gestão do risco, o autor citado salienta ainda que:

- É um processo e não um resultado, ou seja, os instrumentos, ações ou intervenções específicas utilizadas para reduzir ou controlar o risco não definem o processo em si, sendo porém, produto de um processo analítico e de tomada de decisão no qual são considerados os tipos de intervenção adequadas;
- Deve ser considerado a partir dos objetivos e contextos de desenvolvimento e com uma estratégia ou dimensão do planeamento do desenvolvimento e do projeto e não como um mero anexo. A gestão do risco integrada não deverá ficar apenas pelo desenvolvimento de estratégias para o atingir, mas deverá ser instituído nas práticas ou atividades que procuram reduzir o mesmo junto da população.
- É fundamental a participação integral dos atores sujeitos ao risco na implementação de planos apropriados de redução de risco. Ou seja, a gestão do risco não pode ser vista como um processo técnico ou tecnocrata imposto a funcionários técnicos e profissionais. A participação dos grupos afetados é uma componente obrigatória para que a gestão do risco tenha sucesso;
- A participação é a base para a apropriação da gestão do risco por parte dos grupos afetados, e tal apropriação é uma característica que define o processo e a possibilidade de sustentabilidade futura. Os profissionais são sem dúvidas muito importantes, mas eles devem trabalhar em conjunto com os indivíduos sujeitos ao risco procurando intervenções adequadas que podem contribuir para reações mais eficientes (por exemplo: a consciência do risco dentro da população, integração das percepções da população nos instrumentos técnicos, familiarização e interação regular entre as numerosas organizações responsáveis pelas operações de emergência, confiança nas autoridades relevantes que tomam decisões, liderança política, etc.). (Oxley, 2005) no artigo “*Respondendo aos Desastres*” diz-nos que, quando ocorrem catástrofes, estas parecem esmagadoras, mas se a comunidade tiver integrado nas suas práticas ou atividades quotidianas as ações ou intervenções específicas utilizadas

para reduzir ou controlar o risco e participarem ativamente no processo de desenvolvimento dessas mesmas medidas, o sofrimento será muito menor. O próprio Secretário de Geral das Nações Unidas, Kofi Annan, citado por (Oxley, 2005, p.2), salienta que “*Devemos passar de uma cultura de reação para uma cultura de prevenção*”. Porém, as medidas de prevenção e gestão de risco têm permanecido circunscritas apenas a contextos organizacionais com responsabilidades nessa área separadas das dinâmicas das comunidades para as quais elas devem servir (Fiorino, 1990; Handmer, 1996).

2.2.3. Matriz de Risco

Matriz de riscos: é uma técnica que permite fazer uma avaliação relativa dos riscos associados aos perigos identificados. Esta talvez seja a técnica qualitativa mais simples de ser empregada e com resultados de mais rápida e fácil interpretação para implementação de salvaguardas no projeto. A cada perigo, são associadas uma categoria de frequência de ocorrência e uma categoria de severidade da consequência, obtendo-se a correspondente categoria de risco. A associação de frequências e de severidades pode ser feita de forma qualitativa ou de forma quantitativa; a quantificação é possível quando houver números absolutos disponíveis ou calculados para as mesmas. A partir da classificação de todos os perigos, monta-se a matriz de riscos. Com isso, podem então ser direcionadas as decisões para melhoria da segurança.

3. Estudos prévios

A ocorrência de precipitação elevada afeta de modo muito significativo a cidade de Setúbal, na qual se têm verificado grandes cheias associadas a elevados prejuízos materiais, nomeadamente em 1967 e 1983.

A cheia ocorrida em Novembro de 1983, com características excepcionais, é um exemplo da situação de perigo que pode ocorrer nesta cidade.

Após as cheias de 1983 as autoridades locais iniciaram uma série de estudos hidrológicos. O regime de ocorrência de cheias foi caracterizado, com estimação de várias variáveis, tais como os hidrogramas de cheia correspondentes a diferentes períodos de retorno e a máxima cheia provável. Adicionalmente, as condições hidráulicas de escoamento, tais como o transporte sólido e a estimação dos volumes de cheia foram estudadas, levando ao mapeamento das áreas sujeitas a risco de inundação (Correia *et al.*, 1996).

Apesar das inundações referidas terem sido causadas por cheias extremas quase todos os anos ocorrem cheias de menor amplitude, afetando certas áreas na parte mais baixa da cidade de Setúbal.

A pressão urbanística que se tem feito sentir na cidade de Setúbal por parte de grupos de interesse do sector imobiliário dificulta um verdadeiro planeamento urbanístico - daí que a cidade tenha vindo a crescer ao longo do vale e da planície de cheia de um modo algo desenfreado, desde o início do século. As autoridades locais têm sido mais sensíveis às pressões desses grupos do que à de grupos ambientalistas, que têm promovido campanhas contra a ocupação de solos de elevada produtividade agrícola, por construções, antes defendendo a sua preservação como uma área de parque natural (Correia *et al.*, 1996).

Em 1990 um novo instrumento legal sobre planeamento de uso do solo foi criado a nível nacional, obrigando à preparação e aprovação dos Planos Diretores Municipais (PDM). Estes PDM devem incluir a definição de vários usos do solo e estabelecer regras de desenvolvimento, incluindo a criação de áreas protegidas de acordo com critérios ambientais como os da Reserva Ecológica Nacional ou da Delimitação das

Zonas Adjacentes. Esta obrigação foi interpretada pela municipalidade de Setúbal mais como um veículo para a expansão urbana do que como uma oportunidade para corrigir erros antigos de crescimento urbanístico. (Correia *et al.*, 1996).

A situação que se acaba de descrever apela claramente a um processo relativamente bem estruturado de apoio à decisão, o que pode ser feito, numa fase preliminar, recorrendo a uma equipa de peritos técnicos, de modo a identificar as principais componentes desse processo. A estruturação do problema permite assim identificar os pontos de vista relevantes à tomada de decisão e quais os que terão maior influência em diferentes tendências de desenvolvimento urbanístico.

Em 1986 o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), realizou um estudo sobre as cheias ocorridas em 1983, designado “Estudo Hidrológico e Hidráulico das Cheias na Cidade de Setúbal”, o qual teve como objetivo identificar, quantificar e caracterizar os principais problemas existentes.

Este estudo foi apresentado em dois relatórios: 1º Relatório - “Caracterização das Bacias Hidrográficas e Estudo Hidrológico”, de Outubro de 1986 (Relatório 245/86-NHHF); 2º Relatório - “Estudo Hidráulico e Conclusões”, de Novembro de 1986 (Relatório 246/86 - NHHF).

No 1º Relatório foi apresentada a caracterização do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas das linhas de água afluentes à cidade de Setúbal. Foram caracterizadas as bacias hidrográficas nos aspetos geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal e de ocupação humana, com vista a obter elementos de base para a aplicação de um modelo hidrológico de simulação do processo de precipitação-escoamento.

Com base nas precipitações extremas de curta duração, foram calculados os hidrogramas de cheia para vários períodos de retorno.

Verificou-se que face à análise da capacidade de vazão do sistema de coletores apresentado pelo LNEC e à frequência de ocorrência de eventos com inundações da zona baixa de Setúbal, existem sérios potenciais problemas nesta cidade.

No 2º Relatório foi apresentado o cálculo hidráulico da rede de coletores, considerando que os coletores entram em carga em situações de cheia.

Na Figura 1 apresenta-se o esquema da rede de coletores pluviais principais da cidade de Setúbal.

Posteriormente foi efetuado pela HIDROQUATRO em 1992, para as ribeiras da Figueira e do Livramento, o Estudo Prévio e o Projeto de Execução para resolução dos problemas que se verificavam em situação de cheia.

A comparação dos valores da capacidade de vazão dos coletores com os valores dos caudais de ponta de cheia, efetuados nos referidos estudos, mostra que a inundaçãõ se verifica para valores de caudal inferiores a 25 anos.

No quadro 3 apresenta-se a capacidade de vazão dos troços da rede de coletores. Verifica-se que o troço n.º 10, cujo nó de montante é o nó 4, apresenta capacidade de 5,3 m³/s, o que é inferior ao caudal afluente com período de retorno de 2,33 anos. Verifica-se que o troço n.º 1, cujo nó de montante é o nó 1, apresenta capacidade de 17,7 m³/s, o que é inferior ao caudal afluente com período de retorno de 25 anos.

No estudo prévio efetuado pela HIDROQUATRO em 1992 é referido que para controlo de cheias, foi analisada a possibilidade de construção de uma barragem, de definição de uma bacia de amortecimento de cheias e a necessidade de ser considerado o aumento da secção do coletor em Setúbal.

Os projetos de execução apresentados, cujas obras não foram realizadas, foram ficando desatualizados face aos condicionamentos urbanísticos, pelo que em 2001 a Câmara Municipal de Setúbal solicitou à PROCESL o correspondente estudo de reformulação, tendo como principais objetivos o estabelecimento de uma solução de controlo de cheias de modo a reduzir significativamente o caudal de ponta de cheia afluente ao trecho final canalizado coberto.

Deste estudo podem inferir-se as seguintes conclusões principais:

- O troço canalizado coberto sob a cidade de Setúbal tem capacidade de vazão insuficiente para o caudal de ponta afluente com período de retorno inferior a 25 anos;
- A bacia de retenção preconizada no anterior projeto efetuado pela HIDROQUATRO para a ribeira da Figueira (junto do jardim a montante da rotunda) terá, futuramente, de ter menor área devido aos condicionamentos impostos pelo Plano Diretor Municipal (PDM) e pelas construções já existentes.

A bacia de retenção preconizada no anterior projeto efetuado pela HIDROQUATRO para a ribeira do Livramento não tem capacidade para em conjunto com a da ribeira da Figueira regularizar de forma significativa os caudais afluentes, de modo a evitar inundações frequentes em Setúbal;

- A capacidade de vazão é insuficiente em alguns atravessamentos onde frequentemente existe extravasamento dos leitos principais e alagamento das estradas;
- O caudal sólido da ribeira da pedreira (afluente da ribeira da Figueira) é elevado o que conduz à redução das secções de vazão.
- O jardim de Vanicelos, situado no extremo final da ribeira de São Paulo funciona como uma bacia de retenção de grande importância.

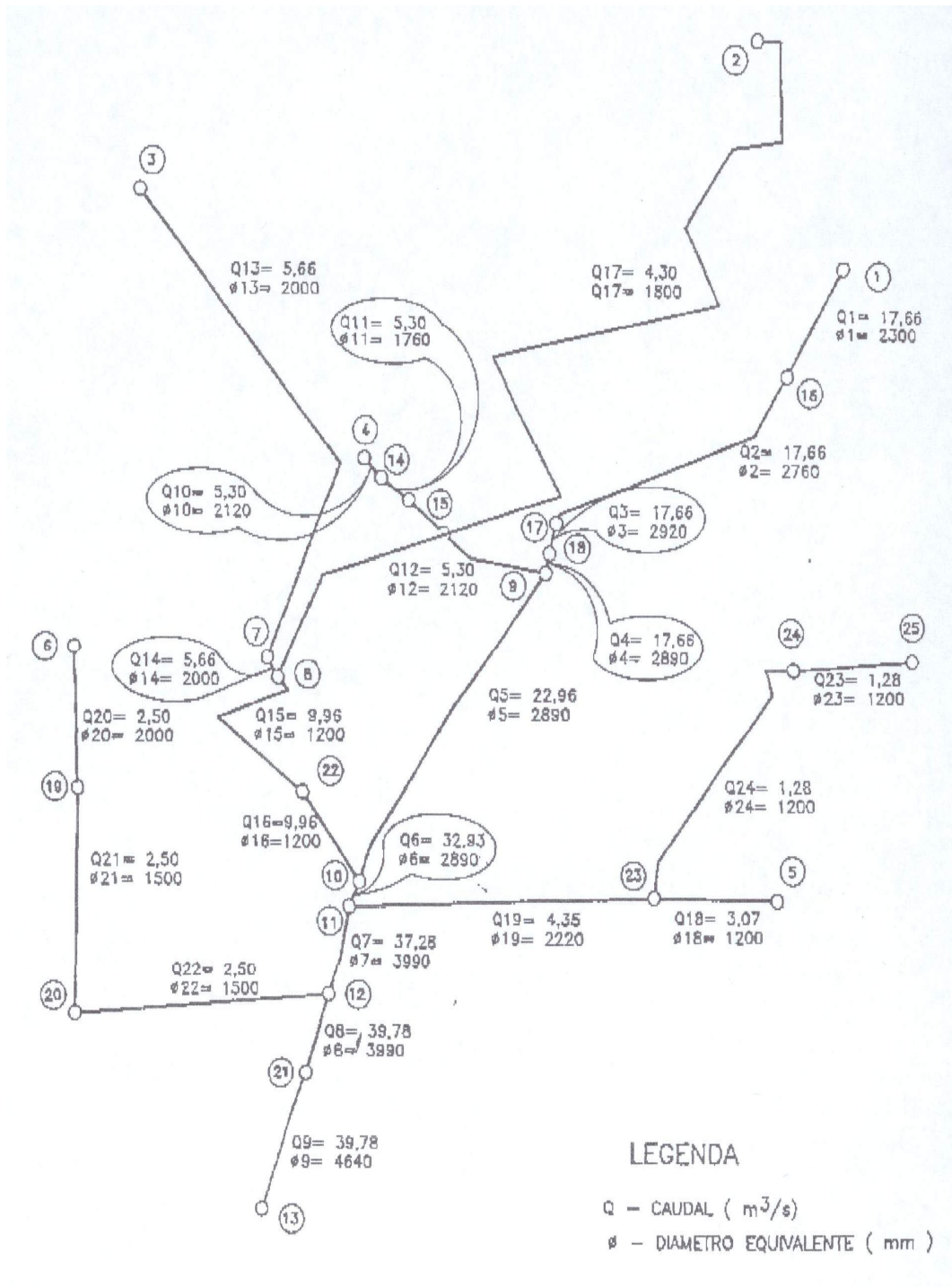
Quadro 3 - Estimativa da capacidade de vazão dos troços principais da rede de coletores da Cidade de Setúbal

TROÇO N.º	NÓ DE MONTANTE	NÓ DE JUSANTE	CARGA A MONTANTE (m)	CARGA A JUSANTE (m)	CAUDA L (m ³ /s)	VELOCIDADE (m/s)
1	1	16	6,95	5,73	17,66	4,25
2	16	17	5,73	5,00	17,66	2,95
3	17	18	5,00	4,87	17,66	2,64
4	18	9	4,87	4,78	17,66	2,69
5	9	10	4,78	2,96	22,96	3,50
6	10	11	2,96	2,66	32,93	5,02
7	11	12	2,66	2,56	37,28	2,98
8	12	21	2,56	2,12	39,78	3,18
9	21	13	2,12	1,83	39,78	2,35
10	4	14	5,00	4,90	5,30	1,50
11	14	15	4,90	4,88	5,30	2,18
12	15	9	4,88	4,78	5,30	1,50
13	3	7	7,00	5,98	5,66	1,80
14	7	8	5,98	5,83	5,6	1,80
15	8	22	5,83	3,78	9,96	3,92
16	22	10	3,78	2,96	9,96	3,17
17	2	8	8,50	5,83	4,30	1,69
18	5	23	3,63	2,81	3,07	2,72
19	23	11	2,81	2,66	4,35	1,12
20	6	19	7,90	3,40	2,50	3,18

Continuação Quadro 3 - Estimativa da capacidade de vazão dos troços principais da rede de coletores da Cidade de Setúbal

TROÇO N.º	NÓ DE MONTANTE	NÓ DE JUSANTE	CARGA A MONTANTE (m)	CARGA A JUSANTE (m)	CAUDA L (m ³ /s)	VELOCIDADE (m/s)
21	19	20	3,40	3,09	2,50	1,41
22	20	12	3,09	2,56	2,50	1,41
23	25	24	3,63	2,97	1,28	1,13
24	24	23	2,97	2,81	1,28	0,83

Fonte: (HIDROQUADRO, 1992)



Fonte: HIDROQUATRO, 1992

Figura 1 - Esquema da rede de coletores pluviais principais da cidade de Setúbal

De acordo com o referido, as metas do plano de intervenção efetuado pela PROCESL em Julho de 2001 para a ribeira da Figueira eram as seguintes:

- Analisar o amortecimento de cheias na bacia de jusante da ribeira da Figueira face às suas novas dimensões impostas pelos presentes condicionamentos urbanísticos;
- Analisar o amortecimento de cheias no jardim de Vanicelos;
- Analisar a possibilidade de controlo de caudal em locais a definir;
- Estudar as secções de vazão dos atravessamentos situados nos cursos de água afluentes às bacias, devendo ser analisados e substituídos os que manifestam secção de vazão que não comporte a cheia centenária;
- Analisar a possibilidade de retenção de sedimentos no trecho final da ribeira da Pedreira.

No âmbito do Estudo Prévio realizado pela PROCESL foi ainda analisada a possibilidade de desvio de caudal de cerca de 30 m³/s, desde a rotunda do nó da via rápida em Setúbal até ao rio Sado, para um novo coletor designado por “Novo Coletor da Figueira”. O traçado em planta do Novo Coletor, com cerca de 1490 m seria coincidente com o projetado pela HIDROQUATRO com exceção do trecho inicial em que se desenvolveria na Estrada Nacional EN 10 e não na rua General Daniel de Sousa.

Relativamente à ribeira do Livramento as metas do Projeto propostas eram as seguintes:

- Analisar o amortecimento de cheias para o período de retorno de 100 anos, na bacia de retenção de acordo com as novas dimensões (e caso seja necessário modelar o terreno de modo a aumentar a capacidade de armazenamento) para que seja compatível com a capacidade do coletor;
- Projetar as obras necessárias à execução da bacia de retenção;
- Regularizar a ribeira dentro da bacia de retenção para o caudal com período de retorno de dois anos;
- Reter sedimentos a montante da entrada no coletor;
- Estudar a capacidade de vazão dos quatro atravessamentos do troço final, situados a montante da bacia de retenção, e do atravessamento localizado na bacia de retenção, procedendo-se à sua substituição se necessário.

Foi com base nas conclusões de que as bacias de retenção, com as áreas atualmente disponíveis, não permitem a laminagem das pontas de cheia para caudais compatíveis com a máxima capacidade de vazão dos trechos cobertos das ribeiras da Figueira e Livramento que o Instituto da Água (INAG) efetuou o levantamento do trecho canalizado coberto em Setúbal, com vista à sua futura ampliação/remodelação, esbatido na estudo prévio Defesa contra cheias na cidade de Setúbal realizado em 2009.

O troço coberto da ribeira do Livramento desenvolve-se na zona baixa da cidade e apresenta 1 745 m de comprimento. A secção transversal é variável, sendo constituída por 14 trechos de diferentes configurações e materiais.

A ribeira da Figueira conflui com a ribeira do Livramento no trecho coberto. O troço coberto da ribeira da Figueira desenvolve-se ao longo de 208 m e é constituído por duas secções diferentes em material e dimensões.

Ao longo de todo o troço coberto existem secções de muito reduzida capacidade de vazão e troços de estabilidade estrutural precária.

No Quadro 4 sintetizam-se os principais problemas das ribeiras da Área de Drenagem de Livramento / Figueira e as correspondentes medidas de intervenção.

O Serviço Municipal de Proteção Civil identifica como principais zonas de risco na Cidade os locais assinalados na Figura 2 e refere como zonas em que em anos anteriores ocorreram inundações, as apresentadas no Quadro 5.

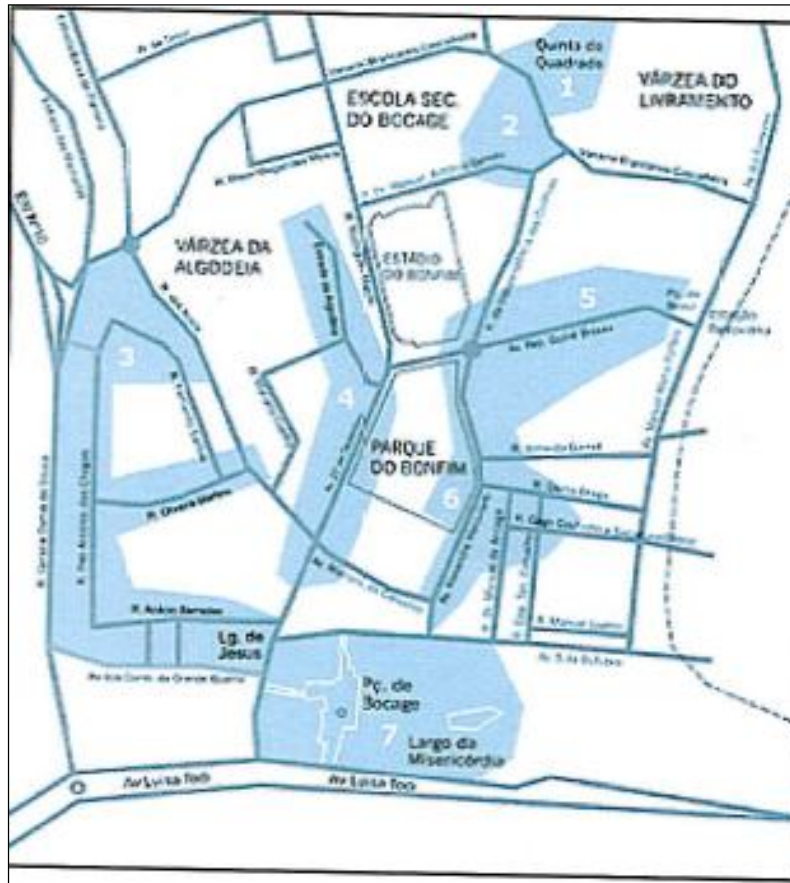


Figura 2 - Principais zonas com risco de inundação

Fonte: www.mun-setubal.pt em 26 de Maio de 2013

Quadro 4 - Principais problemas do comportamento hidráulico da Área de Drenagem Livramento / Figueira e respetivas soluções preconizadas

SUB-TROÇO	PROBLEMA	SOLUÇÃO PRECONIZADA
3.1 - Ribeira da Figueira	<ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente capacidade de vazão do trecho final coberto - Secção de vazão insuficiente em algumas passagens hidráulicas - Inexistência de locais com características e dimensões suficientes para amortecimento de cheias eficaz - Elevado transporte sólido - Cheias frequentes e gravosas 	<ul style="list-style-type: none"> - Máximo amortecimento de cheias possível a montante do eixo viário à entrada de Setúbal (bacia de retenção de montante) - Máximo amortecimento de cheias possível na bacia de retenção (jardim de Algodeia) a montante da entrada em trecho coberto final - Desvio de caudal (30 m³/s) para um novo coletor designado novo coletor da ribeira da Figueira e descarga do caudal excedentário no coletor existente sob a cidade - Ampliação das secções de vazão de alguns atravessamentos

Continuação do Quadro 4 - Principais problemas do comportamento hidráulico da Área de Drenagem Livramento / Figueira e respetivas soluções preconizadas

SUB-TROÇO	PROBLEMA	SOLUÇÃO PRECONIZADA
3.2 - Ribeira do Grelhal	<ul style="list-style-type: none"> - Secções de vazão de atravessamentos, muito insuficientes com frequentes extravasamentos do leito principal e interrupção de estradas de acesso 	<ul style="list-style-type: none"> - Ampliação da passagem hidráulica na Estrada Nacional EN 10 - Redefinição das secções de vazão de atravessamentos existentes a montante da Estrada Nacional EN10
3.3 - Ribeira de São Paulo	<ul style="list-style-type: none"> - Muito insuficiente capacidade de vazão da passagem hidráulica imediatamente a montante do jardim de Vanicelos caso, não sejam mantidas as bacias de retenção naturais existentes a montante da Estrada Nacional EN 531 - Cheias frequentes e gravosas caso não seja mantida a bacia de retenção do jardim de Vanicelos 	<ul style="list-style-type: none"> - Manter as bacias de retenção naturais existentes a montante da Estrada Nacional EN 531 - Manutenção da bacia de retenção do jardim de Vanicelos
3.4 - Ribeira da Pedreira	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado transporte sólido 	<ul style="list-style-type: none"> - Construção de pequenos açudes de retenção de sedimentos ao longo do leito da ribeira
3.5 - Ribeira do Livramento	<ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente capacidade de vazão do trecho final coberto - Secção de vazão insuficiente em algumas passagens hidráulicas - Cheias frequentes e gravosas 	<ul style="list-style-type: none"> - Máximo amortecimento de cheias possível a montante do trecho canalizado coberto final - Construção de pequenos açudes de retenção de sedimentos ao longo do leito da ribeira - Ampliação / Redefinição das passagens hidráulicas - Máximo amortecimento de cheias na projetada bacia de retenção, a montante da via rápida.
3.6 - Trecho canalizado coberto da cidade de Setúbal	<ul style="list-style-type: none"> - Precárias condições de segurança - Reduções pontuais das secções de vazão devido a infraestruturas de habitações - Reduzida capacidade de vazão 	<ul style="list-style-type: none"> - Análise, ampliação e remodelação da secção de vazão

Fonte: PROCESL (2001)

Quadro 5 - Principais zonas identificadas com inundação no passado

Praça do Brasil	Praça Fernando Alcobia
Rua Amílcar Cabral	Praceta Quinta do Freixo
Rua do Mormug�o	Avenida D. Manuel Gamito
Praceta Manuel Nunes de Almeida	Quinta do Quadrado
Rua Alexandre Herculano	Rua Almeida Garrett
Bairro Salgado	Rua da Escola Técnica
Avenida 22 de Dezembro	Estrada da Algodeia
Bairro do Montalvão	Avenida dos Combatentes
Largo de Jesus	Avenida 5 de Outubro
Praça de Bocage	Entre a Avenida 5 de Outubro e o Largo da Misericórdia

Fonte: Sítio de internet da Câmara Municipal de Setúbal retirado em 26 de Maio de 2013

No estudo da PROCESL (2011), concluiu-se que os trechos finais das ribeiras da Figueira, Livramento, ribeira de S. Paulo e outros pequenos cursos de água terminam na rede de coletores da Cidade de Setúbal, a qual apresenta sec es de vazão com capacidade muito insuficiente e estreitamentos localizados. Esta situa o   principalmente relevante quando da simultaneidade de ocorrência de precipita es intensas e preia-mar.

Como principais solu es preconizadas para atenua o dos problemas existentes durante a ocorrência de precipita o intensa   recomendado para a ribeira da Figueira o máximo amortecimento possível a montante do eixo viário   entrada de Setúbal de onde se salienta a designada “bacia de reten o de montante”, no jardim de Algodeia (já existente) e ainda o desvio de caudal por um novo coletor a construir com capacidade para cerca de 30 m³/s. Para a ribeira do Livramento as medidas preconizadas indicam o máximo amortecimento de cheias a montante do trecho canalizado coberto sob Setúbal nomeadamente na bacia de reten o projetada a montante da via rápida.

Na 2ª Fase do Plano, objeto do estudo, foi definida a Carta de Zonas Inundáveis do Concelho de Setúbal para o período de retorno de 100 anos, à escala 1/10 000, com o apoio do modelo computacional HEC - RAS.

A carta de zonas inundáveis correspondente à ocorrência de cheia com período de retorno de 100 anos é um instrumento fundamental no processo de ordenamento do território, pois representa um fator condicionante do uso do solo.

Outro estudo foi a avaliação multicritério das incidências ambientais de medidas de controlo de cheias: o caso da ribeira do livramento, de Antão Da Silva, P.; Bana e Costa, C.; Nunes Correia, F. No caso deste estudo foram consideradas apenas três alternativas de controlo de cheias.

Uma destas alternativas é a de “não-intervenção” (A0) e as outras duas são alternativas estruturais (A1 e A2). As alternativas A1 e A2 foram elaboradas por consultores da autarquia embora não tenham sido ainda adotadas. Uma caracterização breve de cada uma apresenta-se a seguir (Antão Da Silva, 1996):

- Alternativa A0: esta alternativa corresponde à alternativa de “não-intervenção”, ou seja, de conservação de uma área de cerca de 20 ha não construída, pertencente à bacia hidrográfica da ribeira do Livramento, envolvendo o último troço não canalizado da ribeira. O crescimento urbano continuará a fazer-se segundo a tendência dos últimos anos e nenhuma medida de controlo de cheias serão adotadas, exceto impedir a construção no local e proceder a uma manutenção periódica do seu leito e das suas margens. A alternativa A0 serve de referencial de comparação para as outras duas;
- Alternativa A1: esta alternativa corresponde à construção na mesma área de (1) uma bacia de retenção, com vista ao amortecimento dos caudais de cheia afluentes da ribeira do Livramento com período de retorno inferior a 100 anos, de (2) regularização do troço da ribeira incluído na bacia de retenção e de (3) uma bacia de sedimentação de modo a reter os sedimentos afluentes de montante, evitando assim o assoreamento do coletor a jusante. Este sistema, sujeito a limpezas periódicas, permite o aumento da capacidade de vazão da rede hidrográfica. Esta alternativa serve apenas objetivos hidráulicos, não apresentando preocupações de integração urbanística ou de valorização da paisagem;
- Alternativa A2: esta alternativa é semelhante em termos hidráulicos à alternativa A1, mas prevê a construção de um parque urbano, simultaneamente dissimulando as estruturas hidráulicas e valorizando paisagística e socialmente a área urbana em redor.

Nas figuras 3 e 4 apresentam-se representações esquemáticas das alternativas A1 e A2.

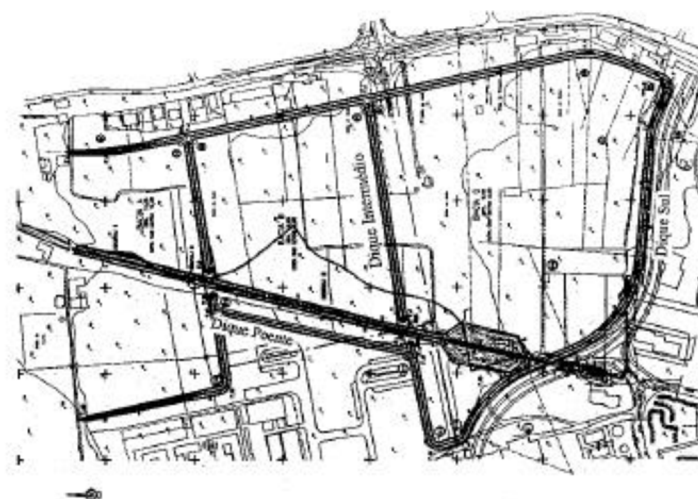


Figura 3 - Representação esquemática da alternativa A1

Fonte: Antão Da Silva, P.; Bana E Costa, C.; Nunes Correia, F.(1996)

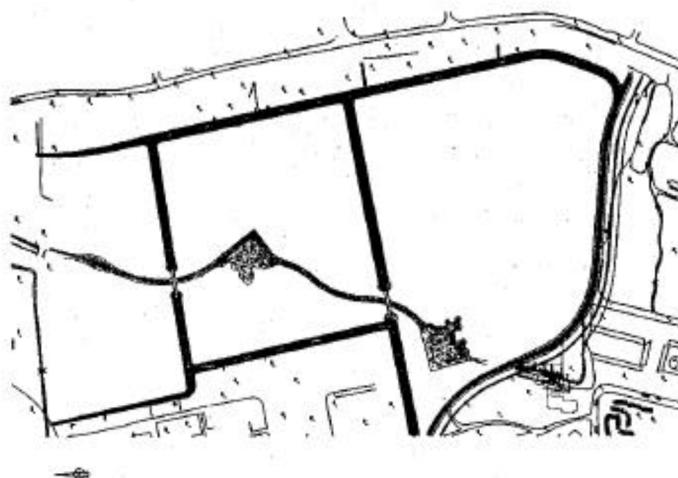


Figura 4 - Representação esquemática da alternativa A2

Fonte: Antão Da Silva, P.; Bana E Costa, C.; Nunes Correia, F.(1996)

De acordo com as opiniões periciais recolhidas, estas alternativas devem ser avaliadas tendo em consideração vários aspetos. De entre eles, os impactes ambientais são os mais relevantes, especialmente os que respeitam aos aspetos hidrológicos e de integração na paisagem urbana. Os impactes sociais devem também ser contemplados, com especial destaque para a vertente da saúde pública. A eficácia técnica das soluções alternativas é

também um aspeto a ter em atenção. Finalmente é indispensável confrontar o mérito de cada alternativa face ao correspondente custo.

Conclui-se que a alternativa A0 é claramente uma alternativa dominada; um acréscimo de cerca de 50% no valor não económico da alternativa A2, relativamente à alternativa A1, é conseguido triplicando o custo da alternativa A1. Se os aspetos económicos forem privilegiados na decisão final, a escolha recairá na alternativa A1, que cumpre o objetivo principal de controlo de cheias a um custo mais baixo que o da alternativa A2. Se privilegiarem aspetos de longo prazo, como os ambientais e os sociais, então a sociedade deve estar disposta a pagar pela mais-valia socio-ambiental que a alternativa A2 representa. De facto, a alternativa A2 cumpre não só o objetivo principal de controlo de cheias, como o da reabilitação e valorização de uma área urbana degradada em termos ambientais e sociais.

4. Metodologia

4.1. Caudais de ponta de cheia

Para cada uma das áreas de drenagem é efetuada a avaliação dos caudais de ponta de cheia em diversas secções consideradas principais.

Os caudais de ponta de cheia foram avaliados pela Fórmula Racional e pelo HEC-HMS do Hydrologic Engineering Center.

Para a avaliação das precipitações intensas associadas aos períodos de retorno de 2,33 anos (ano médio), 5 anos, 10 anos, 20 anos, 50 anos e 100 anos utilizaram-se as curvas Intensidade-Duração-Frequência, I-D-F, estabelecidas por (Brandão e Rodrigues, 1999), para o posto udométrico (PU) de Lisboa (IGDL), o mais próximo da zona em estudo.

A fórmula geral é a seguinte:

$$I = a t b$$

sendo:

I - intensidade de precipitação (mm/h);

t - duração da chuvada (min).

Os parâmetros a e b são função do período de retorno (T) e da duração da chuvada (t).

O tempo de concentração foi estimado por aplicação das seguintes fórmulas:

- Témez

$$t_c = 0,3 \left(\frac{L}{dm^{0,25}} \right)^{0,76}$$

- Kirpich (citada em Chow)

$$t_c = 0,95 \frac{L^{1,155}}{H^{0,38}}$$

em que:

tc - tempo de concentração (h);

L - desenvolvimento do curso de água principal (km);

hm - altura média da bacia hidrográfica (m);

dm - declive médio do curso de água principal;

H - diferença de cotas do talvegue do curso de água principal na secção de maior cota e na secção final que define a bacia hidrográfica (m).

- Fórmula racional

A fórmula racional para cálculo de caudais de ponta de cheia é dada por:

$$Q_p = C \times I \times A$$

em que:

Q_p - caudal de ponta de cheia (m^3/s);

C - coeficiente da fórmula racional;

I - intensidade da precipitação com duração igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica (mm/h);

A - área da bacia hidrográfica (km^2).

Para o coeficiente da fórmula racional, utilizou-se 0,75 para períodos de retorno de 100 anos; 0,50 para períodos de retorno de 20 e 50 anos; e 0,40 para períodos de retorno inferiores.

- Modelo HEC-HMS do hydrologic engineering center

As funções em que se baseia este modelo de simulação são relações matemáticas que pretendem representar os processos meteorológicos, hidráulicos e hidrológicos que se estabelecem numa bacia hidrográfica e que levam à transformação da precipitação em escoamento superficial.

No modelo de simulação para a determinação dos caudais de ponta de cheia e dos respetivos hidrogramas recorreu-se ao hidrograma unitário sintético do Soil Conservation Service, SCS.

4.1.1. Cálculo do Caudal a Escoar

4.1.1.1. Intensidade de precipitação

Este parâmetro é dependente não só das características pluviométricas da zona em estudo, mas também dos parâmetros estatísticos característicos de duração e frequência da precipitação. O método de cálculo mais usual é o que consiste na utilização das designadas curvas de Intensidade-Duração-Frequência, (curvas I-D-F), que fornecem a intensidade de precipitação em função do período de retorno e da duração da chuvada.

De acordo com (Brandão, 2001) foi definida a curva I-D-F para cada período de retorno de acordo com a duração da chuvada.

Tomando como base a expressão:

$$i = a t^n$$

em que:

i - intensidade da precipitação (mm/h);

t - duração da chuvada igual ao tempo de concentração da bacia (h);

a, n - constantes que dependem do período de retorno considerado.

Quadro 6 – Intensidade da precipitação

DURAÇÃO	PERÍODO DE RETORNO T (anos)	a	n
5 minutos a 30 minutos	2 anos	176,46	- 0,529
	5 anos	214,32	- 0,499
	10 anos	239,69	- 0,486
	20 anos	264,16	- 0,477
30 minutos a 6 horas	2 anos	251,82	- 0,626
	5 anos	345,32	- 0,634
	10 anos	407,36	- 0,637
	20 anos	466,92	- 0,639

Fonte: PROCESL, 2011

O período de retorno é fixado em função das características, sobretudo urbanísticas e topográficas da zona a drenar, pesando os riscos sociais e económicos que poderão advir de possíveis estragos por dimensionamento deficiente. Esta análise é difícil, senão

impossível, de realizar, sobretudo quando se pensa em termos urbanísticos futuros. Nesse sentido é corrente considerar a seguinte subdivisão:

- em bacias planas, com amplos espaços livres e onde os transbordamentos podem repartir-se por toda a área da bacia, atingindo pequenas alturas de água, adotar-se-ão períodos de retorno mais pequenos, de 2 ou no máximo, 5 anos, dependendo a opção por cada um destes valores da urbanização local;
- em bacias inclinadas e/ou fortemente impermeabilizadas (zonas de muita edificação), onde os espaços livres são pequenos e as áreas inundáveis correm o risco de acumularem grandes alturas de água e onde se poderão atingir velocidades destruidoras, deverão adotar-se períodos de retorno 10 anos, 20 anos ou até 30 anos.

Atendendo ao referido, considera-se que para as áreas em estudo afetas ao concelho é adequado o período de retorno máximo de 20 anos.

Para o cálculo do tempo de concentração, definido como sendo o tempo que uma partícula de água demora a percorrer o trajeto desde a secção situada na extremidade mais longínqua até à secção em estudo e seguindo a metodologia habitualmente considerada, o referido valor é quantificado como a soma de tempo t_1 , designado por *tempo inicial* e que é o que medeia desde o início da chuvada até a água atingir o primeiro órgão da rede de coletores, e do tempo t_2 , que é o tempo correspondente ao escoamento no coletor.

O tempo t_1 pode variar entre 5 minutos, em zonas inclinadas e elevado número de sarjetas, e 15 minutos, em zonas planas e pequeno número daqueles acessórios.

Para os valores de tempo t_1 preconiza-se um valor médio de 10 minutos.

Quanto ao tempo t_2 , será o determinado a partir da equação admitindo uma velocidade de escoamento de 3 m/s, conforme é preconizado regulamentarmente.

$$t_2 = \frac{\text{Comprimento do colector}}{\text{Velocidade}}$$

4.1.1.2. Coeficientes de escoamento

Nem todo o volume de água precipitado numa certa área de influência de determinado coletor se transforma em caudal de águas pluviais a ser escoado. Há sempre uma

percentagem, variável de caso para caso, que fica retida e que nunca chegará ao órgão drenante, não sendo escoada por este.

São condicionantes principais consideradas na quantificação e determinação deste coeficiente os seguintes fatores:

- dimensões da bacia;
- natureza geológica da bacia drenante;
- teor de saturação do solo;
- cobertura vegetal;
- inclinação do terreno;
- tipo de ocupação do solo (uso do solo e condicionamentos urbanísticos).

Nestes termos consideraram-se os coeficientes de escoamento apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Coeficientes de escoamento

CARACTERÍSTICAS	PERÍODO DE RETORNO			
	2 anos	5 anos	10 anos	20 anos
Zonas pouco impermeabilizadas	0,25	0,30	0,35	0,40
Zonas com impermeabilização fraca a moderada	0,30	0,40	0,45	0,50
Zonas com impermeabilização moderada	0,35	0,45	0,50	0,55
Zonas fortemente impermeabilizadas	0,45	0,50	0,60	0,70

Fonte: PROCESL, 2011

4.1.1.3. Metodologia de cálculo dos caudais

Os caudais a escoar em cada troço foram determinados pelo Método Racional que se baseia na seguinte expressão:

$$Q_p = C \times i \times A$$

em que

Q_p - caudal de ponta na secção em estudo (l/s);

C - coeficiente de escoamento;

i - intensidade da precipitação (l/(s × ha));

A - área drenada pela secção em estudos (ha).

4.1.1.4. Capacidade Hidráulica dos Coletores

O cálculo das capacidades hidráulicas dos coletores (Q_{sc}) foi efetuado recorrendo à fórmula de Manning-Strickler:

$$Q = K A R^{2/3} J^{1/2}$$

em que:

Q - caudal (m^3/s);

K - coeficiente de rugosidade ($m^{1/3}s^{-1}$);

A - área da secção (m^2);

R - raio hidráulico (m);

J - inclinação (m/m).

O valor de K considerado foi de $75 m^{1/3}s^{-1}$, correspondente a um coletor de betão liso.

4.1.1.5. Relação Entre o Caudal a Escoar e a Capacidade Hidráulica dos Coletores

A relação entre o caudal a escoar (Q_{cal}) e a capacidade hidráulica dos coletores (Q_{sc}) é dada por Q_{cal}/Q_{sc} . Se $Q_{cal}/Q_{sc} > 1$, o caudal escoado excede a capacidade do coletor, por outro lado se $Q_{cal}/Q_{sc} < 1$ a capacidade do coletor é suficiente para responder à solicitação do caudal escoado em cada troço.

4.2. Cenário

Um cenário é uma representação simplificada da realidade com a função de ajudar a compreender os problemas e a gravidade dos mesmos. Num plano de emergência os cenários destinam-se a descrever a progressão hipotética das circunstâncias e dos eventos, visando ilustrar as consequências dos impactos, mas especialmente a conceção das decisões e das operações de emergência.

A construção de cenários deve ser realizada para os riscos identificados previamente, tendo em conta os potenciais impactos de uma situação potenciadora de um acontecimento não desejável.

Deve ponderar-se uma multiplicidade de fatores na seleção da lista de cenários, os quais devem ser escolhidos por forma a testar a dimensão da resposta e os recursos necessários, em termos de quantidade, qualidade e oportunidade. Também é importante levar em consideração o potencial para a escalada de um evento ou o "Efeito Dominó" quando combinado com outros perigos. Os cenários deverão ser representados com recurso a cartas ou esquemas, de modo a constituírem uma visão global e a identificação e gestão eficiente das áreas prioritárias de intervenção.

O cenário escolhido para o estudo é a área de inundação para o período de retorno de 100 anos, na medida em que o decreto-lei n.º 115/2010, de 22 de Outubro, refere como zonas ameaçadas por cheias o cálculo das áreas inundáveis para pelo menos este período de retorno.

4.3. Matriz de Risco

A matriz de risco a utilizar é apresentada na Figura 5 e baseia-se no grau de gravidade e de probabilidade associados ao risco em análise. Com base nos cenários escolhidos e nos elementos identificados, deverá ser estimado o grau de gravidade associado à ocorrência de cada cenário considerado no âmbito da caracterização de risco. Os critérios para definição dos vários graus de gravidade são apresentados no Quadro 8.

No Quadro 9 são indicados os critérios para definição dos graus de probabilidade. Após a identificação dos graus de gravidade e probabilidade, os riscos são posicionados sobre a matriz, identificando o grau de risco associado: Extremo, Elevado, Moderado ou Reduzido.

Probabilidade	Elevada	Reduzido	Moderado	Elevado	Extremo	Extremo
	Média-Alta	Reduzido	Moderado	Elevado	Elevado	Extremo
	Média	Reduzido	Moderado	Elevado	Elevado	Extremo
	Média-Baixa	Reduzido	Reduzido	Moderado	Elevado	Extremo
	Baixa	Reduzido	Reduzido	Moderado	Moderado	Elevado
	Residual	Reduzida	Moderada	Acentuada	Crítica	
						Vulnerabilidade

Figura 5 – Matriz de risco

Fonte: ANPC, Caderno técnico n.º9

Quadro 8 - Grau de Gravidade, Critérios de Definição

Classificação	Impacto	Descrição
Residual	População	Não há feridos nem vítimas mortais. Não há mudança/retirada de pessoas ou apenas de um número restrito, por um período curto (até 12 horas). Pouco ou nenhum pessoal de apoio necessário (não há suporte ao nível monetário nem material). Danos sem significado.
	Ambiente	Não há impacto no ambiente.
	Socioeconomia	Não há ou há um nível reduzido de constrangimentos na comunidade. Não há perda financeira.
Reduzida	População	Pequeno número de feridos mas sem vítimas mortais. Algumas hospitalizações e retirada de pessoas por um período inferior a 24 horas. Algum pessoal de apoio e reforço necessário. Alguns danos.
	Ambiente	Pequeno impacto no ambiente sem efeitos duradouros.
	Socioeconomia	Disrupção (inferior a 24 horas). Alguma perda financeira.
Moderada	População	Tratamento médico necessário, mas sem vítimas mortais. Algumas hospitalizações. Retirada de pessoas por um período de 24 horas. Algum pessoal técnico necessário. Alguns danos.
	Ambiente	Pequeno impacto no ambiente sem efeitos duradouros.
	Socioeconomia	Alguma disrupção na comunidade (menos de 24 horas). Alguma perda financeira.
Acentuada	População	Número elevado de feridos e de hospitalizações. Número elevado de retirada de pessoas por um período superior a 24 horas. Vítimas mortais. Recursos externos, exigidos para suporte ao pessoal de apoio. Danos significativos que exigem recursos externos.
	Ambiente	Alguns impactos com efeitos a longo prazo.
	Socioeconomia	Funcionamento parcial da comunidade com alguns serviços indisponíveis. Perda significativa e assistência financeira necessária.
Crítica	População	Grande número de feridos e de hospitalizações. Retirada em grande escala de pessoas por uma duração longa. Significativo número de vítimas mortais. Pessoal de apoio e reforço necessário.
	Ambiente	Impacte ambiental significativo e ou danos permanentes.
	Socioeconomia	A comunidade deixa de conseguir funcionar sem suporte significativo.

Fonte: ANPC, Caderno técnico n.º9

Quadro 9 - Grau de Probabilidade, Critérios de definição

Probabilidade	Descrição
Elevada	É expectável que ocorra em quase todas as circunstâncias; E ou nível elevado de incidentes registados; E ou fortes evidências; E ou forte probabilidade de ocorrência do evento; E ou fortes razões para ocorrer; Pode ocorrer uma vez por ano ou mais.
Média - Alta	Irá provavelmente ocorrer em quase todas as circunstâncias; E ou registos regulares de incidentes e razões fortes para ocorrer; Pode ocorrer uma vez em cada cinco anos. Pode ocorrer uma vez em períodos de 5-10 anos.
Média	Poderá ocorrer em algum momento; E ou com uma periodicidade incerta, aleatória e com fracas razões para ocorrer; Pode ocorrer uma vez em cada 20 anos. Pode ocorrer uma vez em períodos de 20-50 anos.
Média - Baixa	Não é provável que ocorra; Não há registos ou razões que levem a estimar que ocorram; Pode ocorrer uma vez em cada 100 anos.
Baixa	Poderá ocorrer apenas em circunstâncias excepcionais. Pode ocorrer uma vez em cada 500 anos ou mais.

Fonte: ANPC, Caderno técnico n.º9

Para a consideração destas zonas de risco, teve-se em conta a altura de água que atinge determinada zona e o impacto causado nas pessoas, cruzando nos mapas de inundação as profundidades da coluna de água.

Para grau de risco reduzido foi considerado uma altura de água inferior a 50 cm; para o grau de risco moderado foi considerado uma altura de água entre 50 cm e 75 cm; para o grau de risco elevado considerado uma altura de água entre 75 cm e 100 cm e grau de risco extremo considerado uma altura de água acima de 100 cm, como consta da figura 6 e figura 7.

Este estudo terá somente em linha de conta o impacto nas pessoas e viaturas, pelo que as alturas de água consideradas, refletem que até 50 cm a pessoa consegue-se deslocar, e

sair da viatura, entre 50 e 75cm desloca-se com dificuldade, e tem dificuldade em sair da viatura, de 75cm e 100 cm as pessoas podem ser arrastadas pela água e não conseguem sair da viatura e a partir de 100 cm pode-se perder a noção da altura de água podendo levar ao afogamento.

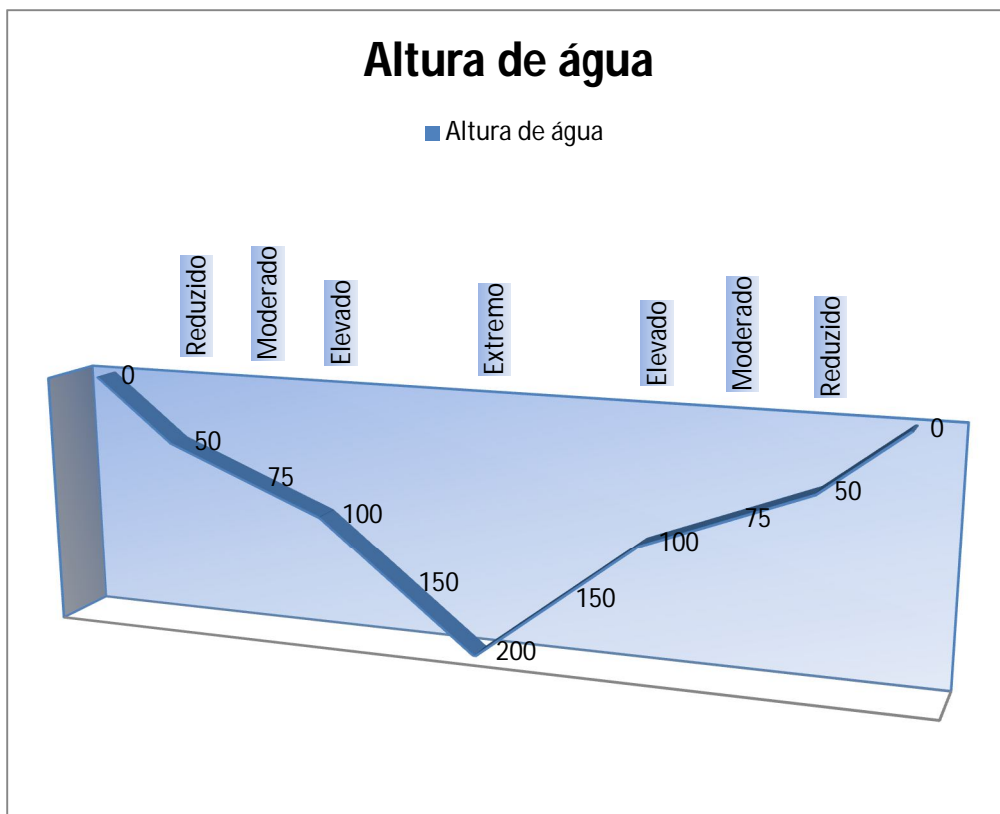


Figura 6 - Gráfico de altura de água invertido e graus de risco nas pessoas

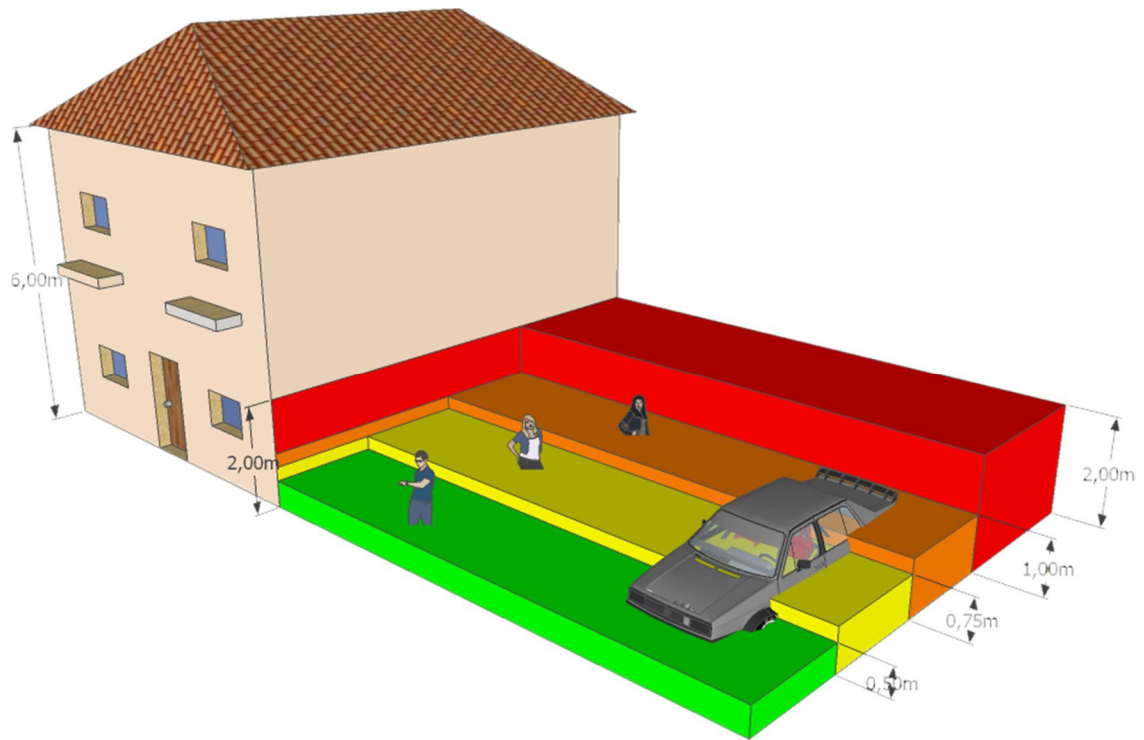


Figura 7 - Altura de água nos elementos expostos e graus de risco

(Considerado pessoas e viaturas)

5. Estudo de Caso

O Concelho de Setúbal, com 172,5 km² (excluindo a área afeta ao estuário do rio Sado), é limitado a Sul pelo rio Sado, apresentando uma frente ribeirinha com uma extensão de cerca de 28 km na qual desaguam várias linhas de água.

A bacia hidrográfica da ribeira do Livramento localiza-se na península de Setúbal, a Sul de Lisboa, a cerca de 40 km de distância. Tem um comprimento aproximado de 8 km e uma área de 12,8 km².

A cidade de Setúbal, situada na planície de cheia de várias ribeiras, de que se destaca a ribeira do Livramento, tem sido frequentemente afetada pela ocorrência de grandes cheias, com inundações da parte baixa da cidade, e consequentes elevados prejuízos materiais.

Constitui um exemplo deste fato, as cheias de Novembro de 1983, provocadas por precipitações intensas de curta duração, se bem que de período de retorno relativamente baixo (15 anos).

As bacias hidrográficas das ribeiras têm declives muito acentuados na zona de montante e uma elevada percentagem de solos com fraca capacidade de retenção de água.

Drenam uma área em forma de leque, pelo que as cheias geradas por precipitações intensas de curta duração como as que se observam na região, afluem à zona baixa da cidade e concentram-se, originando caudais de magnitude muito elevada.

As condições naturais descritas são agravadas: 1 - pela progressiva ocupação e impermeabilização dos solos das bacias hidrográficas devido a urbanização e infraestruturas viárias, provocando o aumento do escoamento dos volumes de cheia, 2 - pela desflorestação e exploração de pedreiras que agravam a erosão e a produção de sedimentos arrastados para jusante, e 3 - pela falta de limpeza das linhas de água com consequente assoreamento e deficiente capacidade de vazão dos coletores de águas pluviais da cidade para onde são conduzidos os caudais das ribeiras (MARN, 1992). Além disso, a avenida marginal, que se desenvolve paralelamente à linha de costa, está construída em aterro, a uma cota superior à baixa da cidade, funcionando assim como dique e dificultando o escoamento superficial para o estuário do rio Sado. Finalmente,

as condições de escoamento das ribeiras são agravadas muitas vezes pelas condições adversas das marés.

A zona urbanizada junto à foz do rio Sado é uma das mais antigas do concelho de Setúbal. Na última década houve grande evolução no concelho com a ampliação dos aglomerados existentes e a criação de novas urbanizações, parques de escritórios, zonas de lazer e zonas culturais. As grandes superfícies comerciais também registaram um crescimento significativo no concelho.

5.1. Sistematização da Informação Existente

- Cartas Militares de Portugal na escala 1/25 000 do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), folhas n.º 453, n.º 454, n.º 455, n.º 464, n.º 465 e n.º 466;
- Cartas 1/10 000 do Concelho de Setúbal, em elaboração;
- Levantamento efetuado pela Câmara Municipal de Setúbal correspondente à rede de valas de Setúbal e Azeitão;
- Plantas do Plano Diretor Municipal:
 - Ordenamento (Uso do Solo),
 - Condicionantes (Servidões e Restrições de Utilidade Pública),
 - Condicionantes (Reserva Agrícola Nacional),
 - Condicionantes (Reserva Ecológica Nacional);
- Estudo Hidrológico e Hidráulico das Cheias na Cidade de Setúbal, LNEC, Novembro de 1986;
- As Cheias em Portugal. Caracterização das Zonas de Risco. 2º Relatório. Bacia Hidrográfica do Rio Sado, LNEC, Outubro 1992;
- As Cheias em Portugal. Caracterização das Zonas de Risco. 4º Relatório. Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, LNEC, reimpresso em Maio de 1995;
- Regularização da ribeira do Livramento. Proteção contra Cheias na Cidade de Setúbal. Projeto de Execução, Câmara Municipal de Setúbal, Setembro 2001;
- Regularização da ribeira da Figueira. Proteção contra Cheias na Cidade de Setúbal. Estudo Prévio, Câmara Municipal de Setúbal, Julho 2001;

- Defesa contra cheias na Cidade de Setúbal. Estudo Prévio. INAG, 2009;
- Plano de Drenagem Pluvial do Concelho de Setúbal. Câmara Municipal de Setúbal, 2011.

5.2. Caracterização de Base Para Determinação do Risco

5.2.1. População

Segundo estimativas do INE (Instituto Nacional de Estatística) a população residente no concelho era de 66 311 habitantes em 1960, 65 230 habitantes em 1970, 98 366 habitantes em 1981, 103 634 em 1991, 113 934 em 2001 e mais recentemente, em 2011 a população residente estimada era de 121 185 habitantes correspondendo-lhe a densidade populacional de 702,3 hab / km².

No Quadro 10 apresenta-se a população residente e a respetiva variação para o concelho de Setúbal entre 1960 e 2011.

Quadro 10 - População residente no Concelho e respetiva variação

DESIGNAÇÃO	1960 / 1970	1970 / 1981	1981 / 1991	1991 / 2001	2001 / 2011
População residente	66 311	65 230	98 366	113 934	121 185
Variação da população residente (%)		-2,0	50,8	12,5	6,7

Fonte: INE

De acordo com o Censos 2011 e considerando a atual divisão administrativa do concelho, a freguesia mais numerosa é São Sebastião, com 52 548 habitantes, a que corresponde a densidade populacional de 2 550 hab / km². Contudo, é a freguesia de São Julião que apresenta maior densidade populacional (Quadro 11).

Quadro 11 - População residente nas freguesias do concelho de Setúbal (Censos 2001-2011)

Freguesia	População 2001 (hab)	População 2011 (hab)	Área (km ²)	Densidade populacional 2011 (hab/km ²)
Nossa Senhora da Anunciada	16 092	13 738	26,9	510
Santa Maria da Graça	5 340	7 620	2,74	2781
São Julião	17 070	16 740	4,1	4082
São Lourenço	8 487	11 638	47,2	246,5
São Sebastião	52 814	52 542	20,6	2550
São Simão	4 598	7 239	21,8	332
Gâmbia-Pontes-Alto da Guerra	4 076	5 885	28,5	692
Sado	5 457	5 783	20,7	279,3
TOTAL	113 934	121185	172,5	702,3

Fonte: INE - Censos 2001, 2011

5.2.2. Enquadramento Físico

5.2.2.1. Geologia

Enquadramento geológico

Do ponto de vista geográfico e estrutural distinguem-se no Concelho as seguintes unidades principais:

- Uma região plana coberta de areias plio-pleistocénicas, que se estende entre a costa ocidental, Quinta do Anjo e Palmela;
- Vários enrugamentos mesozóicos e cenozoicos da Serra da Arrábida, que se estendem com orientação WSW-ENE entre o Cabo Espichel, Sesimbra e Setúbal e Palmela;
- Uma região constituída por formações Plio-Pleistocénica, situada a este de Palmela e de Setúbal e prolongando-se para Este na direção de Águas de Moura.

Os aluviões encontram-se numa vasta área Norte e Este do Concelho evidenciando-se os vales das ribeiras de Ajuda e Livramento.

A bacia aluvionar da ribeira do Livramento e a sua periferia é caracterizada por zonas de cotas baixas, com declives inferiores a 2% e encontram-se preenchidas por aluviões modernas, na sua maioria fluvio-marinhas de natureza argilo-siltosa, arenosa e lodosa (LNEC, 1986).

As formações do Miocénico encontram-se na vertente Norte das serras da Arrábida e de São Luís, locais onde se encontram também formações do Paleogénico constituídas por calcários, arenitos e margas, como consta da carta geológica (LNEC, 1986).

Um importante relevo do concelho de Setúbal é constituído pela serra da Arrábida, a qual tem uma estrutura geológica bastante complexa; é formada por um anticlinal assimétrico com vergência para Sul, como consta da carta geológica.

No flanco Norte desta estrutura afloram todas as unidades compreendidas entre o Liássico (Jurássico inferior) e o Miocénico, aumentando a inclinação das camadas à medida que se caminha para Sul, e diminuindo novamente na zona de charneira do anticlinal do Formosinho. Neste flanco podemos observar rochas de várias naturezas: dolomitos, calcários, margas, argilas, arenitos, conglomerados e areias. (INAG, 2009)

A vertente Sul da Serra da Arrábida, que é muito abrupta, é constituída pelos Dolomitos do Convento (Jurássico inferior a médio). O traçado desta vertente é determinado por um grande cavalgamento basal que afeta o Miocénico do Portinho da Arrábida a leste, e se prolonga para Oeste pelo vale da Mata do Solitário. É esta imponente escarpa litoral que confere à serra da Arrábida a sua originalidade, onde podemos observar formas de erosão marinha e subaérea; da primeira destacam-se as arribas litorais e as rechãs; da segunda, destacam-se as cornijas e respetivos depósitos coluviais (LNEC, 1986).

Outro relevo importante da região de Setúbal, embora tenha dimensões mais reduzidas (2 km de comprimento e 392 m de altitude), é a serra de São Luís. A estrutura geológica é semelhante à que se observa na serra da Arrábida, também corresponde a um anticlinal assimétrico, cavalgante para Sul, com núcleo constituído por dolomitos (Jurássico inferior a médio) e pelos *Calcários de Pedreiras* (Jurássico médio) (LNEC, 1986).

5.2.2.2. Hidrogeologia

Do ponto de vista hidrogeológico as formações Modernas de aluviões dos vales principais podem apresentar algumas possibilidades hidrológicas. São geralmente alimentadas em água pelas nascentes que brotam nas vertentes e, em profundidade, pelas águas das areias Pliocénicas. Deste modo as ribeiras podem apresentar caudais de certo modo importantes, mesmo em período de estiagem (INAG, 2009).

A bacia aluvionar da ribeira do Livramento e a sua periferia constituem um aquífero aluvial de toalha livre, com níveis freáticos superficiais e com oscilações sazonais, podendo nos períodos de maior pluviosidade atingir praticamente a superfície do terreno. Uma vez que formam zonas baixas mal drenadas podem ficar inundadas na sequência de chuvadas importantes. As aluviões da baixa de Setúbal constituem aquíferos aluviaais de toalha livre. (INAG, 2009).

O complexo arenoso do Pliocénico possui condições hidrológicas muito favoráveis, conforme a situação geográfica, a natureza litológica das formações e a espessura das camadas. (INAG, 2009).

O complexo Miocénico apresenta condições variáveis conforme os níveis considerados. Trata-se em geral de águas pouco profundas ou mesmos superficiais cujos caudais diminuem bastante durante o período de estiagem. (INAG, 2009).

5.2.2.3. Geomorfologia

A região onde se insere o concelho de Setúbal desenvolve-se numa superfície de relevo muito suave contrastando com as elevações da serra da Arrábida e da serra de São Luís.

De um modo geral a morfologia da área em estudo está diretamente relacionada com as características litológicas das formações ocorrentes e a sua disposição e ainda com o sistema de falhas que condicionaram o percurso dos principais cursos de água.

A rede hidrográfica que circunda a serra de São Luís (ex: ribeira de Alcube), erodiu preferencialmente litologias de natureza mais branda como é o caso dos *Conglomerados de Comenda* e as *Argilas, Arenitos, Conglomerados e Calcários do Vale de Rasca* (Jurássico superior). (INAG, 2009).

O contacto entre a extensa planície a Norte, e o conjunto de serras (serras da Arrábida e de São Luís), faz-se através de um relevo contínuo, estreito e de traçado sinuoso, formado pelas serras de São Francisco (a Oeste) e serra do Louro (a Este). Estas, que culminam a altitudes entre os 200 e os 256 m, constituem um relevo dissimétrico, desenvolvido numa estrutura monoclinal, em que uma das vertentes concorda com a inclinação regional das camadas aflorantes, mais resistentes, e a outra corresponde a talude abrupto, geralmente escavado por vale bem encaixado. Constitui uma nítida divisória de águas. (INAG, 2009).

Os principais cursos de água que atravessam este concelho são de Oeste para Este a Vala Real, a ribeira da Ajuda ou Comenda, a ribeira do Alcube ou da Figueira, a ribeira do Livramento e o barranco da Cotovia. No Quadro 12 apresentam-se as principais ribeiras que se desenvolvem na área do concelho.

Quadro 12 - Principais cursos de água que se desenvolvem na área do concelho

DESIGNAÇÃO			CLASSIFICAÇÃO DECIMAL	ÁREA (km ²)
Curso principal	Afluente	Sub-afluente		
Tejo				
Vala Real			301 05	78 *
	Rio de Lagos		301 05 04	22
		Ribeira de Vale do Choupo	305 01 04 01	6
		Ribeira de Brejo do Clérigo	301 05 04 03	4
	Ribeira de Casal Bolinhos		301 05 06	6
	Ribeira das Baldrucas		-	2
	Ribeira da Conceição		301 05 08	8
	Ribeira da Serra		301 05 10	4
Sado				
Ribeira da Fábrica do Cimento			-	4
Ribeira da Ajuda ou da Comenda			622 02	32
	Ribeira do Alcube		-	9
Ribeira do Alcube ou da Figueira			622 04	8
	Ribeira de São Caetano ou do Grelhal		622 04 02	2
	Ribeira de São Paulo		-	3
		Ribeira de Vale Verde	-	1
Barranco do Forte Velho			622 06	1
Ribeira do Livramento			622 08	13
	Ribeira da Gamita		-	3
Barranco do Alto da Guerra			622 10	6
Barranco de Canes			622 12	3
Barranco da Cotovia			622 14	16
Barranco dos Cajados ou Vala do Negro ou Ribeira da Bonita			622 18	15
Ribeira do Vale do Judeu			622 20	5

* Área da Vala Real definida na saída do concelho de Setúbal

Fonte: PROCELS (2011)

5.2.3. Clima

O clima da área de estudo é caracterizado com base nos registos das variáveis climáticas correspondentes às Normais Climatológicas da estação climatológica de Setúbal.

Embora a estação climatológica considerada se localize na parte Sul da área em estudo (a menor altitude), estando, portanto, mais influenciada pela proximidade do mar e mais abrigada relativamente aos ventos dominantes, é a estação climatológica mais próxima e cujos fatores climáticos mais se assemelham aos que se observam na área em estudo.

5.2.3.1. Temperatura do ar

A temperatura anual média do ar é de 16,4° C. O regime mensal médio apresenta valores máximos nos meses de Verão, destacando-se Agosto (22,6° C), e mínimos no Inverno, atingindo-se 10,5° C em Janeiro, estabelecendo-se a amplitude térmica de 12,1° C (Quadro 13).

Quadro 13 - Temperatura do ar e número de dias com temperatura do ar mínima e máxima em Setúbal

MESES	HORA		TEMPERATURA DO AR (° C)					NÚMERO DE DIAS		
	9 horas	18 horas	Mensal	Máxima Média	Mínima Média	Máxima Absoluta	Mínima Absoluta.	Mínima < 0° C	Máxima > 25° C	Mínima > 20° C
Janeiro	9,4	11,9	10,5	14,6	6,4	22,6	-4,6	1,1	0,0	0,0
Fevereiro	10,2	12,5	11,2	15,7	6,8	25,6	-5,3	1,0	0,0	0,0
Março	12,6	14,7	13,2	17,8	8,5	27,8	-1,6	0,1	0,6	0,0
Abril	15,1	16,9	15,2	20,3	10,2	32,2	1,4	0,0	3,6	0,0
Mai	17,7	20,3	17,5	22,9	12,1	36,0	3,8	0,0	8,7	0,1
Junho	20,3	22,8	20,4	26,2	14,6	40,4	7,2	0,0	16,4	0,3
Julho	21,5	25,3	22,3	28,7	15,8	41,0	7,6	0,0	25,9	1,4
Agosto	21,7	25,3	22,6	29,1	16,1	40,9	9,0	0,0	26,6	1,0
Setembro	20,4	23,0	21,0	26,9	15,1	39,5	7,5	0,0	18,9	0,4
Outubro	17,7	19,3	18,1	23,3	12,9	36,4	1,7	0,0	8,6	0,1
Novembro	13,3	14,5	13,9	18,4	9,4	29,0	-0,5	0,1	0,7	0,0
Dezembro	9,9	11,5	10,8	15,0	6,7	24,5	-3,1	1,6	0,0	0,0
Ano	15,8	18,2	16,4	21,6	11,2	41,0	-5,3	3,9	110,0	3,3

Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera

As temperaturas do ar extremas, máximas e mínimas médias, registam-se em Agosto (29,1° C) e Janeiro (6,4° C), respetivamente, seguindo de perto o ritmo da temperatura média mensal. No que se refere às temperaturas máximas e mínimas absolutas, ocorrem em Julho (41,0° C) e Fevereiro (5,3° C), respetivamente.

São pouco frequentes as temperaturas inferiores a 0° C, ocorrendo, em média, apenas 3,7 dias anualmente, repartidas pelos meses de Dezembro a Fevereiro.

É em pleno Verão que ocorrem, com maior frequência, temperaturas superiores a 25° C, destacando-se Julho com 25,9 dias e Agosto, com 26,6 dias, num total de 110 dias anualmente.

5.2.3.2. Vento

Os rumos mais frequentes anualmente são N (9,7%), NW (8,3%) e é do rumo N que o vento atinge maior velocidade média (37,0 km/h). A velocidade média anual do vento é de 9,3 km/h. As calmas (velocidade do vento inferior a 1 km/h), são muito pouco frequentes.

No Inverno, são dos quadrantes N e NW que se registam as velocidades médias do vento mais elevadas (9,7 e 8,3 km/h em Fevereiro e Março, respetivamente). Os ventos mais frequentes, no Verão nestes meses são dos rumos N e NW, atingindo em Julho 32,7%. O mês com maior frequência de calmas é Janeiro, registando-se, em média, 12,8%.

O Verão surge como a estação do ano em que os ventos de N ocorrem com maior frequência (32,7% em Julho), correspondendo-lhe a velocidade média de 15,8 km/h, que se destaca por ser a maior velocidade média mensal de todos os rumos registados. Em Julho inicia-se o aumento da frequência de calmas, invertendo a tendência evidenciada na Primavera.

5.2.3.3. Precipitação

A precipitação anual média registada na estação climatológica é de 670,7 mm, ocorrendo em 94,3 dias anualmente. A precipitação intensa (superior a 10 mm), reparte-se, em média, por 21,7 dias anualmente.

A análise do regime mensal da precipitação evidencia um período chuvoso que se estende de Outubro a Maio, e outro, seco, de Junho a Setembro. Janeiro constitui o mês mais pluvioso (110,6 mm), registando-se um máximo secundário em Março. Abril (51,2 mm) e Maio (39,5 mm), constituem os meses em que se verifica a transição entre o período chuvoso e o seco. A partir de Maio assiste-se a uma diminuição acentuada da precipitação, atingindo-se o mínimo em pleno Verão, no mês de Agosto (3,9 mm). Em Setembro inicia-se um novo período chuvoso (Quadro 14).

No período chuvoso identificado, são os meses de Novembro a Março que registam maior frequência de precipitação (entre 8,2 a 13,4 dias), sendo nestes meses que ocorre, em média, maior número de dias com precipitação intensa, salientando-se Janeiro, com 3,4 dias.

No período seco, como seria de esperar, a precipitação é menos frequente, ocorrendo entre 1,1 dias a 4,4 dias, com pouca intensidade (Quadro 14).

Quadro 14 - Precipitação mensal média, máxima diária e número de dias com diferentes intensidades de precipitação em Setúbal

MESES	PRECIPITAÇÃO		NÚMERO DE DIAS COM PRECIPITAÇÃO		
	Total (mm)	Máxima diária (mm)	≥ 0,1 mm	≥ 1 mm	≥ 10 mm
Jan	110,6	80,6	13,4	10,9	3,4
Fev	89,8	50,2	11,6	9,7	3,1
Mar	95,4	69,7	12,2	9,9	3,3
Abr	51,2	50,8	8,6	6,5	1,8
Mai	39,5	58,2	6,9	5,4	1,3
Jun	15,2	44,6	3,4	2,2	0,4
Jul	4,2	14,7	1,1	0,8	0,1
Ago	3,9	22,8	1,3	0,8	0,1
Set	26,8	57,8	4,4	3,3	0,7
Out	56,3	64,7	8,2	6,6	1,8
Nov	86,3	88,4	11,8	8,9	2,6
Dez	91,5	74,6	11,4	9,2	3,0
Ano	670,7	88,4	94,3	74,2	21,7

Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera

5.3. Zonas Ameaçadas por Cheias

De acordo com o Decreto-Lei nº 115/2010, de 22 de Outubro, considera-se como Zonas Ameaçadas por Cheias (ZAC) não classificadas como zonas adjacentes, as áreas suscetíveis de inundação por transbordo de água do leito ordinário dos cursos de água devido à ocorrência de caudais elevados. As ZAC compreendem, assim, a área contígua à margem de um curso de água que se estende até à linha alcançada pela cheia com período de retorno de 100 anos ou pela maior cheia conhecida, no caso de não existirem dados que permitam identificar a cheia centenária.

A delimitação das ZAC efetua-se de forma diferenciada em função do tipo de uso e ocupação do território:

- em áreas urbanas, em que as cheias podem provocar impactes negativos importantes, a sua delimitação deve ser efetuada através de estudos hidrológicos e hidráulicos que permitam o cálculo das áreas inundáveis com período de retorno de pelo menos 100 anos;
- em áreas não urbanas (agrícolas e/ou florestais dominantes) a delimitação das zonas inundáveis pode resultar apenas da representação da cota da maior cheia conhecida, determinada a partir da observação de marcas de cheia, registos de eventos históricos e dados cartográficos, e/ou da aplicação de critérios geomorfológicos, pedológicos e topográficos (alínea c), Secção III, Anexo 1, do DL nº 166/2008).

A delimitação das ZAC no concelho de Setúbal assentou na integração de dois documentos de origem e natureza distintas, os quais exigiram um esforço adicional de compatibilização de informação:

- a “Carta de Zonas Inundáveis do Concelho de Setúbal para o período de retorno de 100 anos”;
- a identificação de troços dos cursos de água de elevada suscetibilidade à ocorrência de cheias, e espacialização das respetivas áreas inundáveis, com base num modelo empírico de avaliação.

As cheias e as inundações podem também ser provocadas pela ação do mar. Este tipo de ocorrência está também abrangido pelo Decreto-Lei n.º 115/2010 de 22 de Outubro, e deve ser considerado na respetiva aplicação ao território nacional.

As cheias e as inundações costeiras tendem a ocorrer nas situações de avanço do mar ou de galgamento de estruturas de proteção. No entanto não é considerado neste estudo.

A "Carta de Zonas Inundáveis do Concelho de Setúbal para o período de retorno de 100 anos" constitui o principal elemento da 2ª fase do "Plano de Drenagem Pluvial do Concelho de Setúbal" (Relatório Final"), realizado pela (PROCESL, Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda., 2011), com o apoio do modelo computacional HEC-RAS.

A carta elaborada no âmbito do "Plano de Drenagem Pluvial do Concelho de Setúbal" está especialmente focada nos cursos de água que escoam em áreas mais problemáticas do ponto de vista do comportamento hidráulico aquando da ocorrência de cheias (Figura 8).

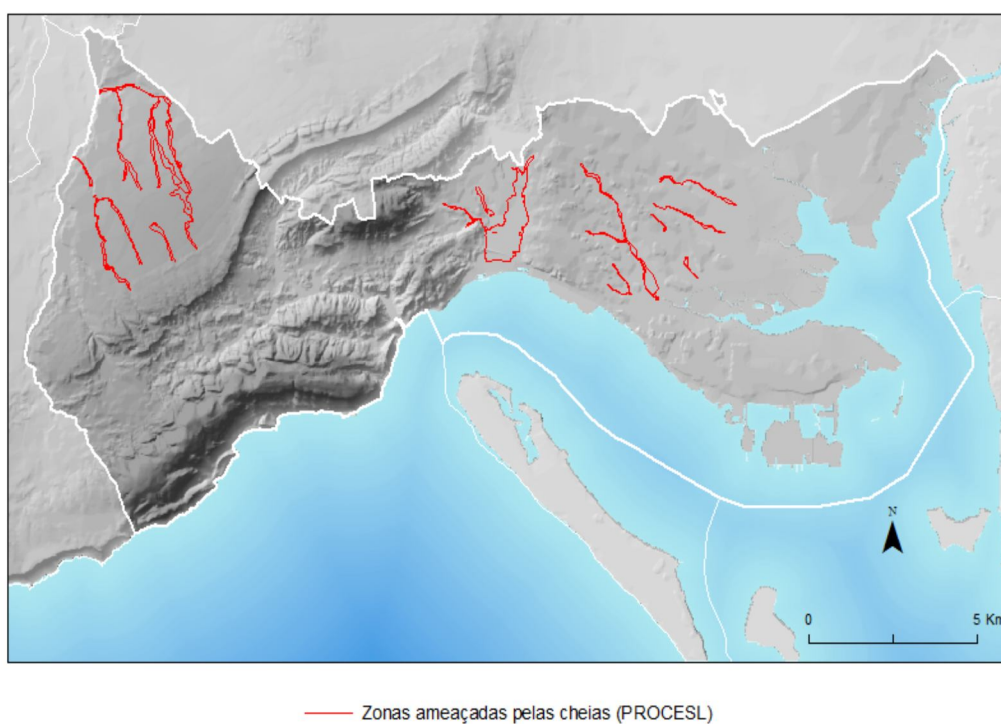


Figura 8 - " Carta de Zonas Inundáveis do Concelho de Setúbal para o período de 100 anos"

(realizado pela PROCESL, Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda., 2011; C. M. Setúbal).

As áreas de drenagem para o interior ou no interior do concelho de Setúbal constituem bacias hidrográficas relativamente pequenas, em que o tempo de concentração não excede 6 horas. Neste sentido, estas bacias de drenagem podem originar cheias com velocidade de progressão rápida, em algumas áreas classificadas como de perigosidade elevada e, noutras, como de perigosidade média a elevada. Nestas bacias, a ausência de

dados hidrométricos ou a sua existência com séries de registos muito curtas, não possibilita um conhecimento fiável do comportamento hidrológico quanto à frequência e à magnitude das cheias. Este facto inviabiliza o cálculo de períodos de retorno associados a cada evento e impossibilita a calibração adequada de modelos hidrológicos mais complexos. Por este motivo, a análise das cheias deve, neste caso, ser encarada numa perspetiva de identificação das áreas suscetíveis de inundação causadas por transbordo da água do leito de rios e ribeiras como consequência de caudais elevados, mas num espaço temporal não definido.

O modelo de suscetibilidade utilizado para a identificação das zonas ameaçadas por cheias baseou-se na integração de três tipos de fatores, considerados relativamente constantes no tempo (Ramos *et al.*, 2008; Julião *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2010; Reis, 2011):

- Área de drenagem acumulada para cada unidade de terreno, ou seja, número de células que drenam para um determinado ponto da bacia hidrográfica;
- Declive médio da área que drena para cada uma das unidades de terreno;
- Valor médio da permeabilidade relativa composta da área que drena para cada uma das unidades de terreno; esta permeabilidade assume, para além da permeabilidade natural da litologia, os efeitos de impermeabilização resultantes das infraestruturas humanas.

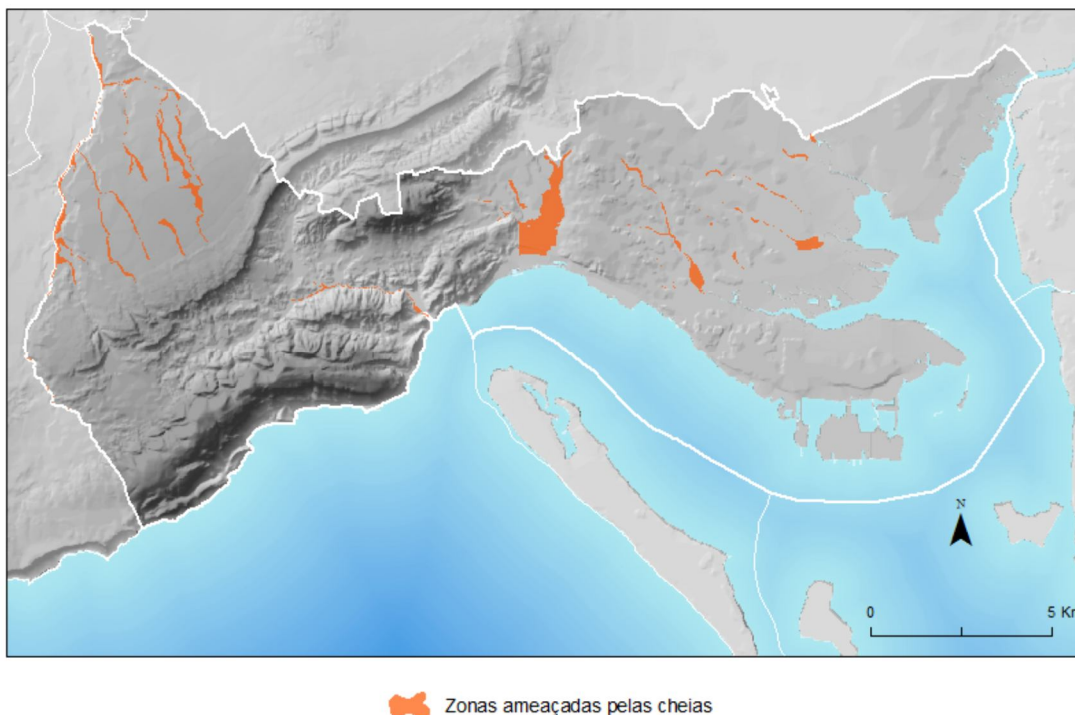


Figura 9 - Zonas ameaçadas pelas cheias

As áreas ameaçadas por cheias, de acordo com a metodologia utilizada, ocupam 4,684 km², o que corresponde a 2% da área total do concelho de Setúbal. Destas, 3,69 km² correspondem a áreas previamente definidas na “Carta de Zonas Inundáveis do Concelho de Setúbal para o período de retorno de 100 anos” do “Plano de Drenagem Pluvial do Concelho de Setúbal”.

As áreas ameaçadas por cheias podem-se dividir em 4 grupos, de acordo com o contexto hidrográfico (4 unidades hidrográficas de análise) e de acordo com o contexto administrativo (8 freguesias), que a seguir se descrevem.

As áreas ameaçadas por cheias da unidade hidrográfica “Vala Real” estão presentes no sector oeste e noroeste do concelho e encontram-se nas freguesias de São Lourenço e de São Simão. Ocupam uma área de 1,849 km² (39,5% da área total das ZAC do concelho) e distribuem-se ao longo do curso de água principal e dos dois principais da margem direita (rio de Lagos e ribeira de Casal de Bolinhos). Em rio de Lagos foram delimitadas as áreas ao longo do curso de água principal, da ribeira do Brejo do Clérigo e do afluente e da ribeira do Vale do Choupo e do afluente; na ribeira de Casal Bolinhos foram delimitadas as áreas ao longo do curso de água principal e do afluente. Estas

linhas de água atravessam áreas de grande pressão urbanística que, em muitos casos, se encontram canalizadas e cobertas e onde já se registaram inundações que afetaram as populações nas imediações (PROCESL, 2011). As áreas ameaçadas por cheias da unidade hidrográfica “Comenda” estão presentes no sector centro-oeste do concelho e encontram-se na parte oeste da freguesia de Nossa Senhora da Anunciada. Ocupam aqui uma área de apenas 0,156 km² (15,62 ha; 3,3% da área total das ZAC do concelho) e distribuem-se ao longo do curso de água principal (ribeira da Comenda). Comparativamente às restantes áreas, esta unidade não possui um comportamento problemático em período de cheias, em grande parte pela inexistência de aglomerados urbanos no leito de cheia. Todavia, sob precipitações intensas, os declives fortes associados ao relevo vigoroso (forte dinamismo de circulação de água ao longo da bacia hidrográfica), conjugados com uma situação de preia-mar alta, existem condições para a ocorrência de cheias ao longo da parte jusante do curso de água principal.

A unidade “Livramento/Figueira” constitui a área mais problemática do concelho no que concerne às cheias. Isto decorre não apenas da área que ocupa (1,825 km²; 39% da área total das ZAC do concelho), mas, sobretudo, pela quantidade de infraestruturas e pessoas que afeta (cidade de Setúbal). Estas áreas ameaçadas por cheias estão presentes essencialmente nas duas freguesias mais pequenas do concelho (São Julião e Santa Maria da Graça), das quais ocupam parte relevante, assim como numa pequena nesga de território na freguesia de Nossa Senhora da Anunciada.

Nas linhas de água desta área de drenagem têm sido registadas inundações frequentes, as quais associadas à situação de preia-mar têm conduzido à ocorrência de importantes prejuízos na cidade de Setúbal (PROCESL, 2011): (Figura 10):

- Ribeira do Livramento;
- Ribeira da Figueira;
- Ribeira do Grelhal (afluente da ribeira da Figueira);
- Ribeira de São Paulo.



Figura 10 - Ribeiras afluentes à cidade de Setúbal

Fonte: PROCELS, 2001

Para o traçado da zona inundável das ribeiras da Figueira, Livramento e São Paulo, as quais entram em canalização coberta a montante da foz no Sado, foi definida a condição de fronteira de jusante, sendo esta a cota da água imediatamente a montante da entrada na secção coberta.

Para a ribeira da Figueira, cuja bacia de retenção é o jardim de Algodeia, o qual está a cota inferior ao da ribeira, a condição de fronteira considerada foi a cota de talvegue (3,5 m), acrescida da profundidade da secção de vazão (2,5 m) e da altura de 0,5 m acima do terreno (extravasamento).

Para a ribeira de São Paulo, cuja bacia de retenção é o jardim de Vanicelos, foi efetuado o amortecimento da cheia na bacia com base nos elementos constantes do projeto de “Regularização da Ribeira da Figueira” efetuado a nível de Estudo Prévio pela PROCESL (INAG, 2001). Estes elementos integram o estudo já anteriormente efetuado pela HIDROQUATRO em 1992, no qual foi definida a curva de vazão do coletor do Jardim de Vanicelos. A cota máxima de água obtida para a bacia de retenção foi de 9,5 m.

Para a ribeira do Livramento foi efetuado o amortecimento da cheia na bacia de retenção com base nos elementos constantes do projeto de “Regularização da Ribeira do Livramento” efetuado a nível de Projeto de Execução pela PROCESL para o INAG (INAG 2001). Estes elementos integram o estudo já anteriormente efetuado pela HIDROQUATRO em 1992, no qual foi definida a curva de vazão do coletor da bacia do Livramento. A cota máxima de água obtida para a bacia foi de 9,5 m.

O traçado da zona inundável para $T = 100$ anos na cidade de Setúbal integra a delimitação efetuada pelo LNEC e apresentada em “Estudo Hidrológico e Hidráulico das Cheias e Inundações na Cidade de Setúbal”, o estudo de “Defesa Contra Cheias na Cidade de Setúbal” elaborado em 2010 pela ATKINS para o INAG, as zonas inundadas que integram o Plano de Intervenção no centro histórico de Setúbal (peça desenhada com dois níveis de inundação no centro histórico) e a recolha de informação sobre cheias nas habitações que se localizam nas áreas mais críticas.

5.4. Ribeira da Figueira / Livramento

5.4.1. Rede hidrográfica Natural

Na generalidade, as ribeiras caracterizam-se por um traçado retilíneo com vales relativamente pouco encaixados e leitos, em muitos casos, pouco marcados, devido às características de relevo locais e à ação humana que ao longo dos anos tem alterado e tornado impercetíveis os leitos de alguns dos cursos de água. Como exceção referem-se os cursos de água que se desenvolvem nas vertentes das serras da Arrábida e de São Luís onde o relevo é vigoroso e os vales são bem marcados.

Em grande parte do concelho os caudais afluentes na época chuvosa extravasam os leitos diminutos e perdem-se pelos terrenos adjacentes não chegando por vezes a atingir as linhas de água principais. Em face da dimensão dos leitos, verifica-se que existe uma

grande instabilidade no traçado das linhas de água devido à distribuição espacial das precipitações e à pequena demarcação morfológica dos vales. As linhas de água facilmente rompem novos traçados verificando-se que na prática são por vezes coincidentes com estradas e caminhos existentes.

De uma forma genérica e de acordo com o referido verifica-se que em muitos casos as linhas de água apresentam problemas, nomeadamente no que se refere às condições de escoamento de grandes chuvadas, e que potencialmente são agravadas por uma deficiente articulação entre operações urbanísticas e a rede hidrográfica existente.

É portanto necessário criar condições para a minimização dos problemas mencionados e que se traduzem em alguns casos em:

- Linhas de água pouco definidas sem continuidade - perdem-se completamente em alguns troços, mesmo nas zonas mais a jusante - com insuficiente capacidade de vazão dos leitos, em face da ocupação existente e prevista das zonas marginais;
- Erosão dos leitos com depósitos de material sólido (sedimentos) nos arruamentos intercetados ou adjacentes e nas redes de águas pluviais devido a frequentes desvios do traçado original ou estrangulamentos associados à crescente ocupação humana desordenada.

Dada a forma das bacias hidrográficas, as ribeiras são sujeitas a cheias repentinas com curta duração mas com elevados caudais de ponta, cujo escoamento se processa em regime torrencial.

A tomada de consciência dos problemas das cheias tem sido dificultada pelo facto de se verificarem grandes períodos em que os caudais são muito reduzidos, uma vez que durante a maior parte do ano o caudal nos cursos de água é praticamente nulo e mesmo nos meses mais húmidos os caudais são, em geral, reduzidos pouco tempo após o termo das chuvadas. Este comportamento tem vindo a propiciar, por um lado, a falta de manutenção dos leitos das ribeiras, e, por outro, aliado a uma nítida pressão urbanística e à construção clandestina a ocupação dos leitos de cheia e o desvio de pequenos cursos de água, provocando grandes constrangimentos nas linhas de água.

É de notar que as ribeiras da Figueira, Forte Velho e Livramento têm o seu troço de jusante coberto, com uma insuficiente capacidade de vazão, o que, aliado ao efeito das marés, resulta no extravasamento das ribeiras à entrada dos troços cobertos, e na entrada

em carga dos coletores. Este efeito é ainda agravado pelo incremento do caudal afluente resultante do aumento da área impermeabilizada provocado pelo relativo desordenamento da ocupação das bacias associado à crescente ocupação habitacional.

Todos estes fatores contribuem para que, aquando da ocorrência de caudais com período de retorno mais elevado, se tenha vindo a verificar consequências gravosas na cidade de Setúbal. As cheias ocorridas em Novembro de 1983 constituem um exemplo dos avultosos prejuízos originados pelas cheias.

Face ao exposto, não constitui surpresa a constatação de que o comportamento do sistema de drenagem pluvial das ribeiras do concelho de Setúbal tenha vindo a ser objeto de estudos, com vista à implementação de medidas corretivas e outras preventivas.

5.4.2. Áreas de drenagem

Para análise e sistematização da rede pluvial do concelho, considera-se a sua divisão em quatro áreas abrangendo cada uma, uma ou mais, bacias hidrográficas principais.

Nos parágrafos seguintes, é realizada uma breve descrição da zona 3, das quatro áreas de drenagem em que se considera o Concelho dividido (Figura 11) nomeadamente:

- Zona 1 - Vala Real;
- Zona 2 - Comenda;
- Zona 3 - Livramento / Figueira;
- Zona 4 - Cotovia.

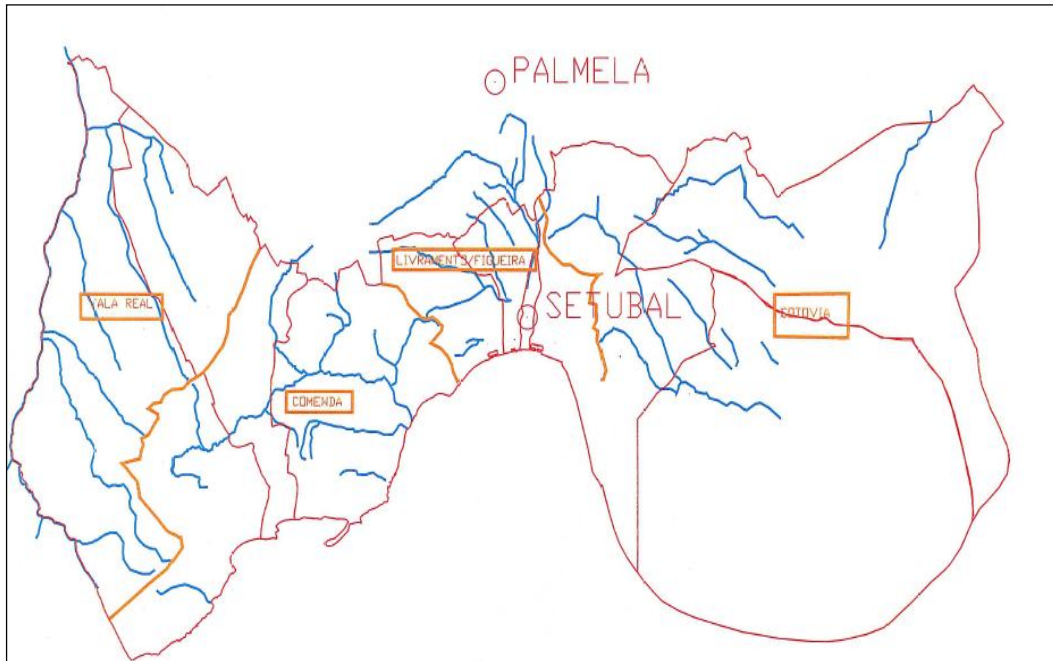


Figura 11 - Limites de concelho e freguesias. Áreas de drenagem e rede hidrográfica

Fonte: PROCESL, 2011

5.4.3. Caracterização da rede hidrográfica

A caracterização do comportamento da rede hidrográfica é efetuada para cada uma das principais ribeiras do concelho de Setúbal. Assim, para cada uma, começar-se-á por fazer uma breve caracterização da respetiva bacia hidrográfica, determinando-se de seguida os caudais de cheia em diversas secções para vários períodos de retorno. O cálculo dos caudais de ponta de cheia tem como objetivo, delimitar zonas inundáveis.

5.4.4. Caracterização do comportamento da rede hidrográfica. Identificação de pontos críticos.

5.4.4.1. Breve caracterização da bacia

Na área de drenagem designada por Livramento / Figueira, localizam-se as bacias hidrográficas principais das ribeiras da Figueira e do Livramento, afluentes do rio Sado, com área total de 7,8 km² e 13 km², respetivamente.

As duas ribeiras referidas, conjuntamente com outras pequenas linhas de água, constituem a rede hidrográfica natural afluente à rede de coletores da cidade de Setúbal.

No Quadro 15 apresentam-se as principais características geomorfológicas da rede de drenagem em secções consideradas de maior importância e na Figura 12 apresenta-se a correspondente representação em planta.

Quadro 15 - Principais características geomorfológicas da rede de drenagem em secções consideradas de maior importância

LINHA DE ÁGUA	DESIGNAÇÃO	ÁREA (km ²)	L (m)	Cm (m)	Cj (m)	d (m/m)
Ribeira São Caetano / Grelhal	A montante da confluência com a Ribeira da Figueira	1,89	2 956	290	15	0,09
Ribeira de Vale Verde	A montante da confluência com a Ribeira de S. Paulo	1,04	1 899	180	18	0,09
Ribeira de São Paulo	A montante da confluência com a Ribeira de Vale Verde	1,02	2 174	200	18	0,08
	A jusante da confluência com a Ribeira de Vale Verde	2,06	2 174	200	18	0,08
	A montante da confluência com a Ribeira da Figueira	2,60	2 542	200	6	0,08
Ribeira da Figueira	A montante da confluência com a Ribeira de São Caetano	3,06	3 693	180	15	0,04
	A jusante da confluência com a Ribeira de São Caetano	4,95	3 693	180	15	0,04
	A montante da confluência com a Ribeira de São Paulo	5,27	4 542	180	18	0,04
	A jusante da confluência com a Ribeira de São Paulo	7,87	4 542	180	18	0,04
Barranco do Forte Velho	Foz	0,56	1 750	140	18	0,07
Ribeira do Livramento	A montante da confluência com a Ribeira da Gamita	8,69	6 449	130	12	0,02
	A jusante da confluência com a Ribeira da Gamita	11,44	6 449	130	12	0,02
	Foz	13,08	7 669	130	12	0,02
Ribeira da Gamita	Foz	2,76	2 678	80	5	0,03

L (m)- Comprimento da linha de água ; Cm (m) - Cota de montante ; Cj (m) - Cota de jusante , d (m/m) - densidade de drenagem .

Fonte: PROCESL, 2011

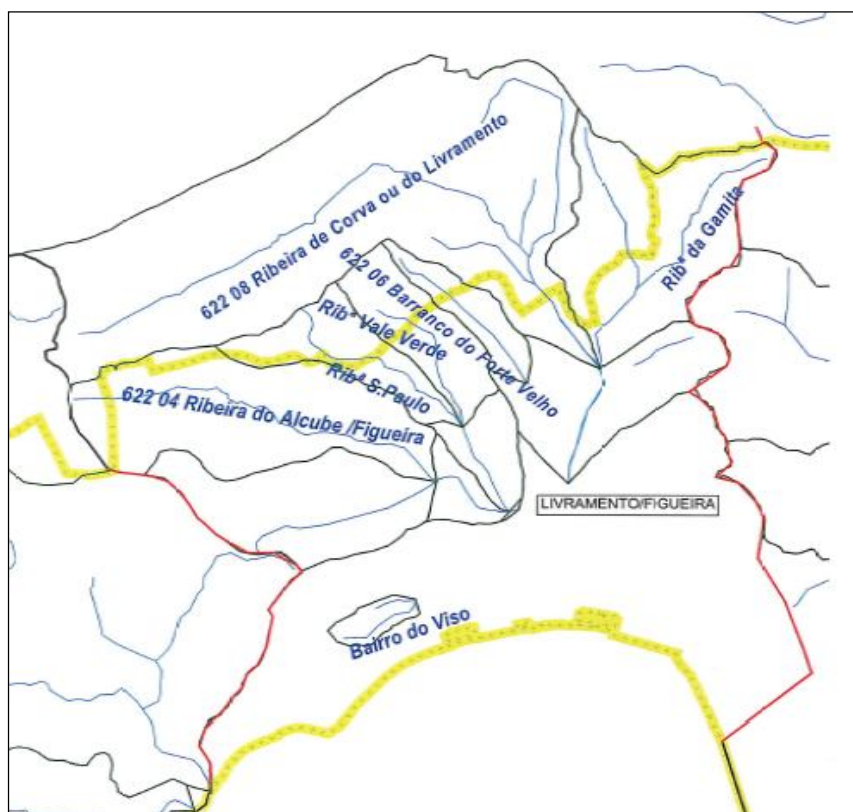


Figura 12 - Bacias hidrográficas das ribeiras da Figueira e Livramento

Fonte: PROCESL,2011

5.4.4.2. Ribeira da Figueira

A bacia hidrográfica da ribeira da Figueira, definida na entrada do coletor em Setúbal, à cota de 3 m, tem 7,8 km² de área e 10,1 km de perímetro. A ribeira percorre longitudinalmente a bacia hidrográfica desde a nascente, nas proximidades do Canal do Pinhal Basto, na vertente Norte da serra de São Luís, à altitude de 170 m, até à entrada no coletor. O comprimento da ribeira da Figueira até à secção de definição é de 4,5 km e o respetivo declive médio é de 3,6%.

A ribeira da Figueira apresenta dois afluentes principais, designados por ribeiras do Grelhal e de São Paulo. A confluência com a ribeira de São Paulo localiza-se já em troço canalizado coberto.

O reconhecimento efetuado no local permitiu verificar que o curso de água principal tem maior expressão para jusante da confluência da ribeira do Grelhal (Ilustração 1). Neste local a ribeira da Figueira desenvolve-se paralelamente à Estrada Nacional EN 10 em canal trapezoidal e recebe o referido afluente da margem direita (Ilustração 2).



1

Ilustração 1 - Confluência da ribeira do Grelhal com a ribeira da Figueira.



2



3

Ilustração 2 - Canal trapezoidal revestido a montante e seguidamente em terra, ao longo da Estrada Nacional EN 10. Vistas para jusante.

A montante da confluência da ribeira do Grelhal a ribeira encontra-se muito obstruída com canavial e vegetação diversa.

Para jusante, até ao atravessamento da rotunda, a ribeira encontra-se obstruída nalguns trechos por vegetação diversa.

Na Ilustração 3 - apresentam-se sequencialmente, de montante para jusante (desde a confluência da ribeira do Grelhal até à entrada na rede de coletores), o leito principal da ribeira da Figueira.

No Quadro 16 apresentam-se as dimensões características do leito menor da ribeira da Figueira. No Quadro 17 apresentam-se as características dos atravessamentos localizados ao longo do curso de água.

Quadro 16 - Dimensões características do leito menor da ribeira da Figueira

LOCAL	SECÇÃO	LARGURA DE RASTO (m)	TALUDE MARGEM DIREITA		TALUDE MARGEM ESQUERDA	
			Declive	Altura (m)	Declive	Altura (m)
A montante da confluência da ribeira do Grelhal.	Trapezoidal	2,1	1 V : 0,75 H	1,7	1 V : 0,75 H	1,7
A jusante da confluência da ribeira do Grelhal	Trapezoidal com revestimento em pedra	2,2	Vertical	2,4	1 V : 1 H	1,6
A jusante da zona com revestimento em pedra	Trapezoidal	2,2	1 V : 1 H	1,6	1 V : 1 H	1,6
A jusante do atravessamento do muro	Retangular	3,8	Vertical	1,6	Vertical	1,6
A montante do atravessamento da rotunda na Estrada Nacional EN 10	Trapezoidal	4,5	1 V : 1 H	2	1 V : 1 H	2,0
A montante do atravessamento da rotunda na Estrada Nacional EN 10	Retangular	3,5	Vertical	2,5	Vertical	2,5
À entrada da rede de coletores	Retangular	2,5	Vertical	3,0	Vertical	3,0

Fonte: PROCESL, 2011



3



4

Atravessamento de muro contíguo à Estrada Nacional EN 10. Vista do atravessamento e para jusante.



5



6

Aspeto do curso de água a montante da rotunda e secção do respetivo atravessamento.



7



8

Aspeto do curso de água imediatamente a jusante da rotunda.



9








10

Aspeto do trecho final junto da entrada em coletor sob a Cidade de Setúbal.

Ilustração 3 - Sequencialmente 3 a 10 de jusante para montante (desde a confluência da ribeira do Grelhal até à entrada na rede de coletores) leito principal da ribeira da Figueira

Quadro 17 - Principais passagens hidráulicas na ribeira da Figueira

PASSAGEM HIDRÁULICA	ALTURA (m)	LARGURA (m)	SECÇÃO	FOTOGRAFIA
PH3.1	1,9	3,9	Retangular	
PH3.2	1,7	5,0	Retangular	
PH 3.2 A	1,5	2,5	Retangular	-
PH3.3	2,0	3,0	Retangular com abóbada superior	
PH3.4	1,3	2,6 (superior)	Trapezoidal	
PH3.5		2 × 800 mm	Circular	
PH3.6		800 mm	Circular	-

Fonte: PROCESL, 2011

Em todo o trecho identificado verificam-se extravasamentos frequentes, responsáveis por inundações em Setúbal. Esta situação é agravada quando coincidem períodos de chuvadas intensas com situações de preia-mar.

5.4.4.3. Ribeira do grelhal

A ribeira do Grelhal, afluente da margem direita da ribeira da Figueira, desenvolve-se numa extensão de cerca de 3 km desde a zona do Grelhal até ao Bairro da Reboreda, onde conflui com a ribeira da Figueira.

A bacia hidrográfica da ribeira definida na confluência com a ribeira da Figueira, aproximadamente à cota de 17 m, tem 2 km² de área e 6,6 km de perímetro.



11

Ilustração 4 - Aspeto da ribeira do Grelhal, no trecho final.




No Quadro 18 apresentam-se as dimensões características do leito menor da ribeira do Grelhal. No Quadro 19 apresentam-se as características dos atravessamentos localizados ao longo do curso de água.

Quadro 18 - Dimensões caraterísticas do leito menor da ribeira do Grelhal

LOCAL	SECÇÃO	LARGURA DE RASTO (m)	TALUDE MARGEM DIREITA		TALUDE MARGEM ESQUERDA	
			Declive	Altura (m)	Declive	Altura (m)
A montante da confluência da ribeira da Figueira	Trapezoidal	1,0	1 V : 0,75 H	2,7	Vertical	2,7

Fonte: PROCESL, 2011

Quadro 19 - Principais passagens hidráulicas na ribeira do Grelhal e afluentes

PASSAGEM HIDRÁULICA	ALTURA (m)	LARGURA (m)	SECÇÃO	FOTOGRAFIA
PH3.7	0,8	1,8	Retangular	
PH3.8	1,5	2,0	Retangular	
PH3.9	800 mm		Retangular	-
PH3.9A	0,6	0,6	Retangular	

Fonte: PROCESL, 2011

5.4.4.4. Ribeira de São Paulo

A ribeira de São Paulo desenvolve-se numa extensão de 2,5 km desde a zona da Quinta de São Paulo até ao jardim de Vanicelos, onde entra na rede de coletores da cidade de Setúbal. A confluência com a ribeira da Figueira efetua-se já no trecho final coberto.

A bacia hidrográfica da ribeira definida na entrada do sistema de coletores, aproximadamente à cota de 10,0 m, tem 2,6 km² de área.

Na Ilustração 5 apresenta-se a ribeira de São Paulo, desde o atravessamento a montante do jardim de Vanicelos até à entrada na rede de coletores, Em situação de cheia este jardim comporta-se como bacia de retenção.

No Quadro 20 apresentam-se as dimensões características do leito menor da ribeira de São Paulo e no Quadro 21 as características dos atravessamentos localizados ao longo do curso de água.

Quadro 20 - Dimensões características do leito menor da ribeira de São Paulo

LOCAL	SECÇÃO	LARGURA DE RASTO (m)	TALUDE	MARGEM	TALUDE	MARGEM
			DIREITA		ESQUERDA	
			Declive	Altura (m)	Declive	Altura (m)
A montante da confluência da ribeira da Figueira.	Retangular	1,1	Vertical	1,0	Vertical	1,0

Fonte: PROCESL, 2011



12



13



14




15



16

Ilustração 5 - Ribeira de São Paulo no Jardim de Vanicelos, desde a entrada em coletor sob a Estrada até ao extremo final de entrada na rede de coletores da Cidade de Setúbal.

Quadro 21 - Principais passagens hidráulicas na ribeira de São Paulo

PASSAGEM HIDRÁULICA	ALTURA (m)	LARGURA (m)	SECÇÃO	FOTOGRAFIA
PH3.10	600 mm		Circular	-
PH3.11	300 mm		Circular	-
PH3.12	700 mm		Circular	
PH3.13	2 x 200 mm		Circular	-

Fonte: PROCESL, 2011

5.4.4.5. Barranco do forte velho

O Barranco do Forte Velho, curso de água afluente à rede de coletores da cidade de Setúbal, apresenta o trecho inicial canalizado coberto na zona da nova urbanização junto da Quinta do Hilário.

Para jusante, na zona de Poço Canelas, desenvolve-se a céu aberto, numa pequena vala em terra. Na Ilustração 6 observa-se o aspeto da vala.



17

Ilustração 6 - Barranco do Forte Velho. Vista para montante.


No Quadro 22 apresentam-se as dimensões características do leito menor do barranco do Forte Velho. No Quadro 23 apresentam-se as características dos atravessamentos localizados ao longo do curso de água.

Quadro 22 - Dimensões características do leito menor da ribeira do Forte Velho

LOCAL	SECÇÃO	LARGURA DE RASTO (m)	TALUDE MARGEM DIREITA		TALUDE MARGEM ESQUERDA	
			Declive	Altura (m)	Declive	Altura (m)
A montante da entrada em canalização coberta	Retangular	1,0	1 V : 0,75 H	1,0	1 V : 0,75 H	1,0

Fonte: PROCESL, 2011

Quadro 23 - Principais passagens hidráulicas da ribeira do Forte Velho

PASSAGEM HIDRÁULICA	ALTURA (m)	LARGURA (m)	SECÇÃO	FOTOGRAFIA
PH3.14	500 mm		Circular	-
PH3.15	800 mm		Circular	

Fonte: PROCESL, 2011

5.4.4.6. Ribeira do Livramento

A ribeira do Livramento, com cerca de 8 km de comprimento a céu aberto, nasce nas proximidades do Canal do Areeiro e do Canal da Eira Gorda, entre a serra de São Luís e a serra do Louro, no concelho de Palmela, desenvolvendo-se até Setúbal onde conflui com o rio Sado. No seu trecho final, a partir do Bonfim, corre em troço coberto atravessando assim a cidade de Setúbal. O troço de montante da ribeira do Livramento,

desde a nascente até próximo da Quinta da Misericórdia e da Quinta dos Melros, no concelho de Palmela, é também designado por ribeira de Corva.

A orientação dominante do troço de montante - ribeira de Corva - é de Oeste para Este. A partir da Baixa de Palmela e até à confluência com o rio Sado a orientação dominante passa a ser de Norte para Sul. No seu percurso a ribeira do Livramento atravessa no trecho final a cidade de Setúbal, como referido, e várias quintas e bairros suburbanos do concelho de Setúbal.

Até à entrada no coletor a ribeira do Livramento apresenta um comprimento de cerca de 8 km e a bacia hidrográfica aí definida tem uma área de cerca de 13,1 km².

A rede hidrográfica da bacia apresenta-se muito ramificada com padrão de drenagem dendrítico.

Segundo a classificação de Strahler, o curso de água é de 4^a ordem (com base na cartografia à escala 1/25 000). Esta 4^a ordem inicia-se na proximidade do Bairro da Azeda e mantém-se até à entrada no coletor na zona do Bonfim.

A cota topográfica máxima da bacia hidrográfica da ribeira do Livramento é de 232 m, no alto da serra de Palmela, sendo a sua cota mínima de 3 m na linha de água junto à entrada no coletor.

Na Figura 13 apresenta-se o perfil longitudinal do curso de água principal, em toda a sua extensão. Pela análise desta figura verifica-se que os maiores declives se situam entre as cotas 130 m e 158 m, no troço inicial da linha de água.

O levantamento in situ do curso de água permitiu verificar que o leito menor da ribeira do Livramento extravasa facilmente, dando origem à inundação de extensas áreas dos terrenos marginais.

A ribeira do Livramento desenvolve-se nos últimos 872 m, entre o atravessamento do Bairro da Azeda e a entrada em canalização coberta na zona do Bonfim. Neste troço a ribeira apresenta trechos delimitados por muros em ambas as margens, alternados com trechos em secção trapezoidal de taludes em terra. A largura média do rasto das secções transversais varia entre cerca de 3 m e 5 m. Nas margens desenvolve-se canavial denso.

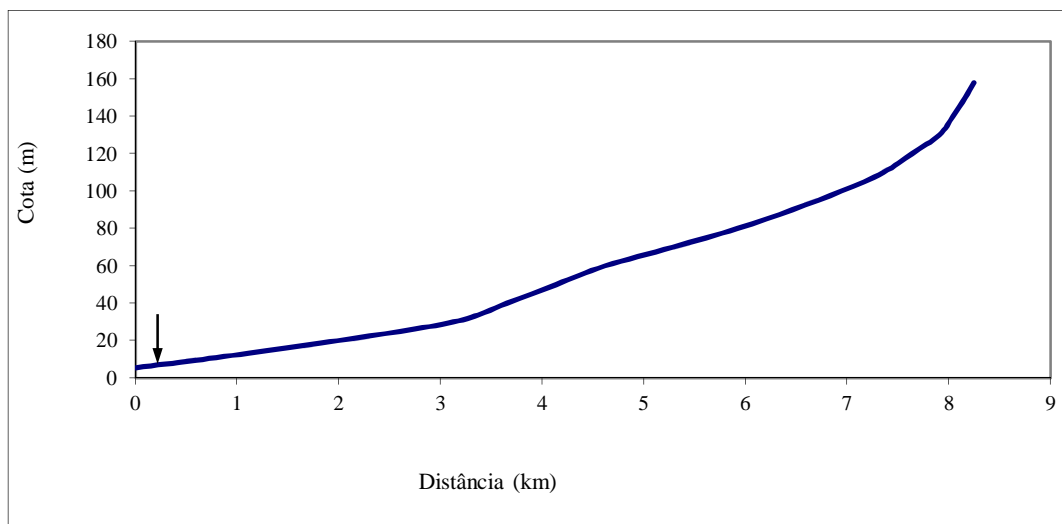


Figura 13 - Perfil longitudinal da ribeira do Livramento para montante da entrada em canalização coberta.

Fonte: PROCESL,2011

Neste troço localiza-se um atravessamento a 553 m da entrada em canalização coberta.

Os declives do talvegue do curso de água variam entre o valor mínimo de 0,26% e o valor máximo de 0,55%.

Para montante da passagem hidráulica 2 e até à passagem hidráulica 5 – Figura 14, a ribeira desenvolve-se ao longo de 232 m, sendo a maior parte do seu percurso efetuado junto à Estrada Nacional EN 252. A passagem hidráulica 5 localiza-se na estrada de acesso à Quinta dos Ciprestes. A ribeira desenvolve-se na quase totalidade da sua extensão entre muros. O declive médio da ribeira é também muito variável com valores de cerca de 2% a 0,2%.

Na Ilustração 7 apresenta-se a ribeira do Livramento desde a entrada na rede de coletores na cidade de Setúbal até ao trecho contíguo à Estrada Nacional EN 252.



Figura 14 - Atravessamentos 1 a 5 desde a projetada bacia de retenção até ao acesso à Quinta dos Ciprestes.

Fonte: PROCESL, 2011



18



19



20



21

Ilustração 7 - Ribeira do Livramento desde a entrada na rede de coletores até ao trecho contíguo à Estrada Nacional EN 252.

No Quadro 24 apresentam-se as dimensões características do leito menor da ribeira do Livramento. No Quadro 25 apresentam-se as características dos atravessamentos localizados ao longo do curso de água.

A ribeira da Gamita, afluente da margem esquerda, apresenta no trecho final imediatamente a montante da confluência com a ribeira do Livramento (zona da Varzinha) uma vasta bacia de retenção seccionada, por acessos locais, em três áreas contíguas.



22

Ilustração 8 - Confluência da ribeira da Gamita com a ribeira do Livramento junto da Estrada Nacional EN 252. Vista de jusante.

Quadro 24 - Dimensões características do leito menor da ribeira do Livramento



LOCAL	SECÇÃO	LARGURA DE RASTO (m)	TALUDE MARGEM DIREITA		TALUDE MARGEM ESQUERDA	
			Declive	Altura (m)	Declive	Altura (m)
A montante da entrada na rede de coletores da Cidade.	Trapezoidal	3,9	1 V : 0,75 H	1,7	Vertical	3,0

Continuação do Quadro 24 - Dimensões características do leito menor da ribeira do Livramento

Para montante do atravessamento junto da Estrada Nacional EN 252 (Quinta das Galroas)	Retangular	2,4	Vertical	2,85	Vertical	2,85
---	------------	-----	----------	------	----------	------

Fonte: PROCESL, 2011

Quadro 25 - Principais passagens hidráulicas na ribeira do Livramento e afluente

PASSAGEM HIDRÁULICA	ALTURA (m)	LARGURA (m)	SECÇÃO	FOTOGRAFIA
PH3.16	3,3	2,6	Oval	
PH3.17	1,4	4,9	Retangular com abóbada superior	-
PH3.18	2,05	2,6	Retangular	
PH3.19	2,0	2,5	Retangular com abóbada superior	-

Continuação Quadro 25 - Principais passagens hidráulicas na ribeira do Livramento e afluente

PASSAGEM HIDRÁULICA	ALTURA (m)	LARGURA (m)	SECÇÃO	FOTOGRAFIA
PH3.20	1,6	4,5	Retangular com abóbada superior	
PH3.21	1,5	3,0	Retangular com abóbada superior	
PH3.22	0,3	0,3	Retangular	-
PH3.23	300 mm		Circular	-
PH3.24	3 × 500 mm		Circular	-
PH3.25	0,7	1,5	Retangular	-
PH3.26	1 000 mm		Circular	-
PH3.27	800 mm		Circular	-

Fonte: PROCESL, 2011



No Quadro 26 apresentam-se as dimensões características do leito menor da ribeira da Gamita. No Quadro 27 apresentam-se as características dos atravessamentos localizados ao longo do curso de água.

Quadro 26 - Dimensões características do leito menor da ribeira da Gamita

LOCAL	SECÇÃO	LARGURA DE RASTO (m)	TALUDE MARGEM DIREITA		TALUDE MARGEM ESQUERDA	
			Declive	Altura (m)	Declive	Altura (m)
A montante da confluência com a ribeira do Livramento	Trapezoidal	2,0	1 V : 0,75 H	1,5	1 V : 0,75 H	1,5

Fonte: PROCESL, 2011

Quadro 27 - Principais passagens hidráulicas na ribeira da Gamita

PASSAGEM HIDRÁULICA	ALTURA (m)	LARGURA (m)	SECÇÃO	FOTOGRAFIA
PH3.28	1,2	1,2	Retangular	
PH3.29	2 × 8 00 mm		Circular	
PH3.30	2 × 1 200 mm		Circular	-
PH3.31	2 × 1 200 mm		Circular	-

Fonte: PROCESL, 2011

5.4.5. Caudais de ponta de cheia

Efetuaram-se as simulações hidrológicas para a quantificação dos caudais de ponta de cheia associados aos períodos de retorno de ano médio, 5 anos, 10 anos, 25 anos, 50 anos e centenário. No Quadro 28 apresentam-se os resultados obtidos.

Quadro 28 - Caudais de ponta de cheia. Livramento / Figueira

		area (km ²)	tc (horas)-adoptado	2 anos		5 anos		10 anos		20 anos		50 anos		100 anos	
				i (mm/h)	Qp (m ³ /s)	i (mm/h)	Qp (m ³ /s)	i (mm/h)	Qp (m ³ /s)	i (mm/h)	Qp (m ³ /s)	i (mm/h)	Qp (m ³ /s)	i (mm/h)	Qp (m ³ /s)
Rib ^a S. Caetano/Grelhal	A montante da confluência com a Rib ^a da Figueira	1,89	0,73	23,5	5,1	31,50	6	36,74	7,6	41,80	9,00	48,34	11,0	53,48	13,1
Rib ^a de Vale Verde	A montante da confluência com a Rib ^a de S. Paulo	1,04	0,53	28,7	3,2	38,51	4,3	44,96	4,7	51,18	5,20	59,22	6,6	65,52	8,3
Rib ^a de S. Paulo	A montante da confluência com a Rib ^a de Vale Verde	1,02	0,59	26,8	3,5	35,96	4,7	41,97	5,0	47,77	5,70	55,26	7,1	61,14	8,9
	A jusante da confluência com a Rib ^a de Vale Verde	2,06	0,59	26,8	6,5	35,96	9	41,97	9,7	47,77	10,90	55,26	13,7	61,14	17,2
	A montante da confluência com a Rib ^a da Figueira	2,60	0,68	24,5	6,6	32,87	9,1	38,35	9,9	43,63	11,20	50,47	14,0	55,83	20,3
Rib ^a da Figueira	A montante da confluência com a Rib ^a de S. Caetano	3,06	1,03	18,9	5	25,25	7,9	29,42	10,0	33,45	15,00	38,66	19,8	42,77	22,2
	A jusante da confluência com a Rib ^a de S. Caetano	4,95	1,03	18,9	7,3	25,25	13,5	29,42	20,7	33,45	33,00	38,66	38,0	42,77	42
	A montante da confluência com a Rib ^a de S. Paulo	5,27	1,10	18,1	7,4	24,25	13,7	28,24	21,0	32,10	30,00	37,10	38,0	41,04	43
	A jusante da confluência com a Rib ^a de S. Paulo	7,87	1,28	1,0	12	22,05	20,9	25,68	22,5	29,18	36,00	33,70	47,0	37,29	54
Barranco do Forte Velho	Foz	0,56	0,52	28,9	2,1	38,84	3,2	45,34	3,9	51,61	4,20	59,73	5,9	66,08	6,3
Ribeira do Livramento	A montante da confluência com a Rib ^a da Gamita	8,69	1,97	12,6	7,8	16,73	13,8	19,46	20,7	22,09	28,00	25,50	36,0	28,21	45,9
	A jusante da confluência com a Rib ^a da Gamita	11,44	1,97	12,6	9,8	16,73	17,2	19,46	25,8	22,09	37,70	25,50	45,5	28,21	58,2
	Foz	13,08	2,36	11,2	10,6	14,96	19,2	17,39	29,4	19,74	44,20	22,77	54,1	25,19	67,2
Rib ^a da Gamita	FOZ	2,76	0,91	20,5	4,3	27,41	6,8	31,95	9,1	36,32	11,50	41,99	14,0	46,45	17,8

Fonte: PROCESL, 2011

5.5. Identificação de pontos críticos e medidas de intervenção propostas

5.5.1. Sistema de Drenagem Pluvial da Área de Drenagem de Livramento / Figueira

As redes de águas pluviais de Livramento / Figueira drenam para a rede de coletores que se desenvolve sob a cidade de Setúbal a qual como referido anteriormente apresenta deficientes condições de drenagem quando da ocorrência simultânea de precipitações intensas e situações de preia-mar.

As redes pluviais desta Área de Drenagem são de difícil análise pois apresentam muitas ligações alternativas e conforme referido anteriormente drenam também os caudais provenientes das linhas de água. As ligações alternativas derivam do deficiente funcionamento em situação de precipitação intensa e têm como objetivo uma drenagem mais fácil que obvie os problemas de sobrecarga de alguns troços.

Nestes termos, atendendo à dificuldade de estimar as cotas de cada caixa de visita numa zona de relevo relativamente plano preconizou-se a análise das redes por amostragem. Selecionaram-se três redes pluviais de dimensão considerável e para estas três redes foi verificada a capacidade de drenagem.

Com base nas Figuras 15 e 16 e nos Quadros 29 e 30 verifica-se que na zona da Cidade os coletores pluviais encontram-se muito subdimensionados, carecendo de estudos de pormenor os quais deverão integrar os trechos finais cobertos dos cursos de água.

A nível de plano e de acordo com as redes selecionadas para amostragem verifica-se que muitos são os trechos das redes com capacidade de vazão deficiente mesmo para o período de retorno de 2 anos. Para períodos de retorno de 5 ou mais anos quase toda a rede apresenta capacidade de drenagem insuficiente.

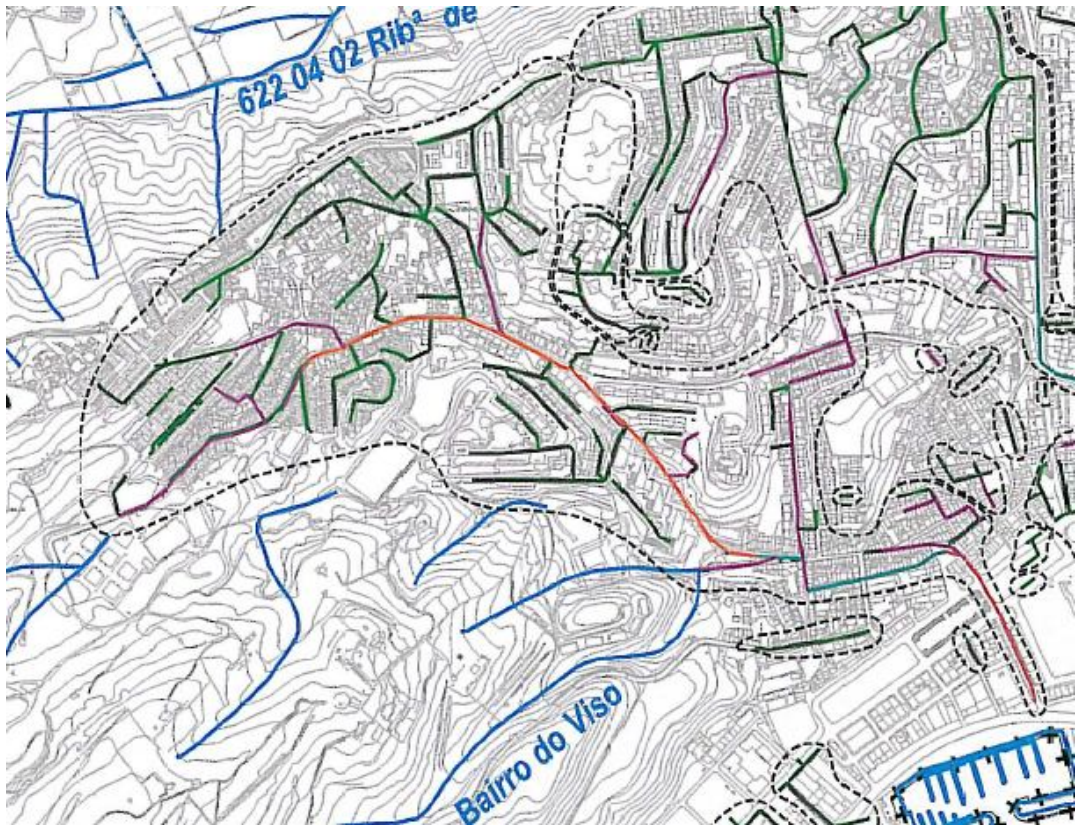


Figura 15 - Rede de drenagem de coletores pluviais designada F1



Figura 16 - Redes de drenagem de coletores pluviais designadas F2 e F2A

Fonte: PROCESL,2011

Quadro 29 - Área de Drenagem de Livramento / Figueira. Características hidráulicas das redes pluviais

REDE	CAIXAS		PROFUNDIDADE (m)		COMPRI-MENTO (m)	INCLINAÇÃO (%)		DIÂMETRO (mm)	CAUDAL A SECCÃO CHEIA (m ³ /s)	CAUDAL A SECCÃO CHEIA (l/s)
	Montante	Jusante	Montante	Jusante		Terreno	Tubagem			
F1	0	1	2,2	1,3	275	3,27	2,95	800	2,21	2213
	1	2	1,3	2,35	100	1,00	2,05	800	1,85	1846
	2	3	2,35	2,2	326	7,67	7,62	1 000	6,45	6454
	3	4	2,2	1,6	238	5,88	5,63	1 300	11,17	11166
	4	5	1,6	3,7	319	6,27	6,93	1 300	12,39	12386
	5	6	3,7	3,2	50	10,00	9,00	1 500	20,68	20676
	6	7	3,2	2,3	300	3,33	3,03	1 700	16,76	16760
	7	8	2,3	1,1	250	4,80	4,32	2 × 2,200 × 1 900	252,58	252577
	1.1	1.2	0,85	1,3	250	2,80	2,98	500	0,64	636
	3.1	3.2	2,35	2,2	175	2,86	2,77	600	1,00	997
	6.1	6.2	1,9	2	50	6,00	6,20	800	3,21	3210
	6.2	6.3	2	3,3	300	4,33	4,77	700	1,97	1972
6.3	6	3,3	3,2	100	9,00	8,90	800	3,85	3846	
F2	1	2	2,5	3	500	0,72	0,82	600	0,54	542
	2	3	3	2,75	75	1,33	1,00	600	0,60	599
	3	4	2,74	2,8	75	1,33	1,41	1 000	2,78	2779
	4	5	2,8	2,75	470	0,11	0,10	1 400	1,78	1774
	2.1	2	1,5	3	300	1,00	1,50	300	0,125	115
F2A	A	B	1,5	3	300	1,00	1,50	300	0,12	115
	B	C	1,65	3	300	1,00	1,45	700	1,09	1087
	C	D	1,8	2,1	400	0,00	0,07	1000	0,64	640
	D	E	2,1	2	400	0,25	0,23	1 200	1,8	1803
	E	F	2	3,4	550	0,00	0,25	1 200	1,9	1918

Fonte: PROCESL, 2011

Quadro 30 - Área de Drenagem de Livramento / Figueira. Identificação de zonas críticas

REDE	CAIXAS		TEMPO DE ENTRADA (minuto)	T = 2	T = 5	T = 10	T = 20
	Montante	Jusante		Qcal / Qsc	Qcal / Qsc	Qcal / Qsc	Qcal / Qsc
F1	0	1	10,00	1,82	3,18	4,13	5,17
	1	2	11,53	2,13	3,72	4,83	6,05
	2	3	12,08	0,57	0,99	1,29	1,62
	3	4	13,89	0,21	0,37	0,48	0,60
	4	5	15,22	0,32	0,56	0,73	0,91
	5	6	16,99	0,50	0,89	1,16	1,46
	6	7	17,27	0,59	1,05	1,37	1,73
	7	8	18,93	0,05	0,08	0,11	0,13
	1.1	1.2	10,00	6,52	46,19	59,98	75,08
	3.1	3.2	10,00	0,83	1,45	1,88	2,35
	6.1	6.2	10,00	0,01	0,02	0,03	0,04
	6.2	6.3	10,28	2,01	3,50	4,55	5,70
6.3	6	11,94	0,40	0,70	0,91	1,14	
F2	1	2	15,00	1,64	2,45	3,16	3,93
	2	3	20,56	2,63	3,88	5,40	7,13
	3	4	21,39	0,67	0,99	1,37	1,30
	4	5	22,22	1,30	1,92	2,68	3,53
	2.1	2	31,67	3,61	5,41	7,60	7,20
F2A	A	B	35,00	5,72	8,72	11,35	14,21
	B	C	38,33	1,16	1,74	2,45	3,26
	C	D	42,78	2,3	3,47	4,89	6,50
	D	E	47,22	0,96	1,44	2,04	2,71
	E	F	53,33	0,97	1,48	2,08	2,77

Fonte: PROCESL, 2011

T = 2 anos Qcalc / Qsc > 1
 T = 5 anos Qcalc / Qsc > 1
 T = 10 anos Qcalc / Qsc > 1
 T = 20 anos Qcalc / Qsc > 1

5.6. Elementos expostos nas zonas ameaçadas por cheias

Para avaliar os elementos expostos nas zonas ameaçadas por cheias recorreu-se a uma metodologia de cartografia dasimétrica baseada na interpolação zonal de polígonos sobrepostos (Goodchild and Lam, 1980). Deste modo, a população e o edificado expostos foram estimados pela sua proporção relativa à área que ocupam na classe (assumindo-se uma distribuição normal/homogénea) e tendo por base os dados da população e do edificado referentes ao Censos 2011, devidamente georreferenciados e desagregados à respetiva subsecção estatística. O resultado esperado é apenas uma aproximação à realidade, uma vez que o método assume que a distribuição espacial do edificado e da população é homogénea dentro de cada subsecção estatística. O Quadro 31 sistematiza os resultados obtidos e mostra que cerca de 11% da população do concelho de Setúbal reside em zonas ameaçadas por cheias. Quanto ao edificado, 7,4% do total de edifícios localiza-se em zonas com essas características. Relativamente às freguesias, destaca-se a de Santa Maria da Graça, com cerca de 83% da sua população e 58% do seu edificado situados em zonas ameaçadas pelas cheias, seguida pela freguesia de São Julião com 27,2% e 41,9%, respetivamente. Por fim, merece ainda destaque a freguesia de Nossa Senhora da Anunciada com 16,3% da sua população e 8,0% do seu edificado nas mesmas condições. Os elementos expostos estão representados no Anexo 1 – Mapa 2, 3 e 4

Quadro 31- Edificado e população residente em zonas ameaçadas por cheias, por freguesia do concelho de Setúbal

	População Residente	Edifícios Clássicos
	%	
Setúbal (Nossa Senhora da Anunciada)	16,3	8,0
Setúbal (Santa Maria da Graça)	82,7	57,6
Setúbal (São Julião)	27,2	41,9
São Lourenço	3,9	4,1
Setúbal (São Sebastião)	0,2	0,4
São Simão	3,2	3,8
Gâmbia Pontes e Alto da Guerra	1,0	0,7
Sado	0,1	0,1
Concelho	10,8	7,4

5.7. Capacidades de Vazão

Foi analisada a capacidade de vazão das passagens hidráulicas definidas.

Para as passagens hidráulicas localizadas na área de drenagem da Figueira/Livramento os resultados obtidos são os apresentados no Quadro 32.

Quadro 32 - Análise das capacidades de vazão máximas das passagens hidráulicas localizadas na área de drenagem da Figueira/Livramento e comparação com os caudais afluentes para T = 100 anos.

PASSAGEM HIDRÁULICA A	SECÇÃO EXISTENTE			CAUDAL AFLUENTE T = 100 ANOS (m ³ /s)	Q MAX (m ³ /s)	OBS.	CAPACIDADE E DE VAZÃO
	Retangular		Circular r (mm)				
	base (m)	altura (m)					
Figueira							
PH 3.1	3,9	1,9	-	25,0	43,3		Sim
PH 3.2	5,0	1,7	-	25,0	44,5		Sim
PH 3.2A	2,5	1,5	-	25,0	15,9		Não
PH 3.3	3,0	2,0	-	25,0	21,8	Com abóbada superior	Não
PH 3.4	2,6	1,3	-	25,0	19,8	Trapezoidal	Não
PH 3.5	-	-	800	14,0	1,6		Não
	-	-	800		1,6		
PH 3.6	-	-	800	13,0	1,2		Não
Grelhal							
PH 3.7	1,8	0,8	-	13,1	4,5		Não
PH 3.8	2,0	1,5	-	2,0	18,1		Sim
PH 3.9	-	-	800	3,0	2,4		Não
PH 3.9 A	0,6	0,6	-	2,0	1,6		Não
São Paulo							
PH 3.10	-	-	600	19,0	0,1		Não
PH 3.11	-	-	300	19,0	0,02		Não
PH 3.12	-	-	700	18,0	0,2		Não
PH 3.13	-	-	200	11,0	0,1		Não
	-	-	200				
Forte Velho							
PH 3.14	-	-	500	4,0	0,5		Não
PH 3.15	-	-	800	3,0	0,9		Não
Livramento							
PH 3.16	2,6	3,3	-	67,7	39,6	Oval	Não
PH 3.17	4,9	1,40	-	67,7	19,1	Com abóbada superior	Não
PH 3.18	2,6	2,05	-	67,7	24,6		Não
PH 3.19	2,5	2,00	-	67,7	22,5	Com abóbada superior	Não
PH 3.20	4,5	1,60	-	67,7	36,9	Com abóbada superior	Não
PH 3.21	3,0	1,50	-	45,9	16,1	Com abóbada superior	Não
PH 3.22	0,3	0,3	-	2,5	0,1		Não
PH 3.23	-	-	300	2,5	0,05		Não
PH 3.24	-	-	500	2,1	0,1		Não
	-	-	500		0,1		
	-	-	500		0,1		
PH 3.25	1,5	0,7	-	2,1	4,4		Sim
PH 3.26	-	-	1000	2,1	2,6		Sim
PH 3.27	-	-	800	1,5	2,6		Sim

Continuação do Quadro 32 - Análise das capacidades de vazão máximas das passagens hidráulicas localizadas na área de drenagem da Figueira/Livramento e comparação com os caudais afluentes para T = 100 anos.

Gamita							
PH 3.28	1,2	1,2	-	17,8	4,2		Não
PH 3.29	-	-	800	15,4	1,6		Não
	-	-	800		1,6		
PH 3.30	-	-	1200	15,4	2,1		Não
	-	-	1200		2,1		
PH 3.31	-	-	1200	15,4	2,1		Não
	-	-	1200		2,1		

Fonte: PROCESL, 2011

Conforme verificado para a Área de Drenagem Figueira / Livramento a capacidade de vazão da quase totalidade das passagens hidráulicas é insuficiente (27) pelo que se preconiza a necessidade de redefinição da secção de vazão.

Para a delimitação da área inundável para o período de retorno T = 100 anos, apresentada no Anexo 2 – Mapa 1, foi também efetuada uma visita ao local com recolha de informação sobre cheias nas habitações que se localizam nas áreas mais críticas. O resultado da referida recolha de informação é apresentado no Quadro 33 e fotografias 24 a 36.

Quadro 33 - Visita ao local com recolha de informação sobre cheias

REFERÊNCIA	LOCALIZAÇÃO	COMENTÁRIO
1 - Papelaria	Rua de São Custódio	De acordo com informação dos proprietários a maior cheia (Nov 83) terá atingido 0,64 m dentro da loja. Na praça do Bocage e nesta mesma cheia a água terá atingido 1,2 a 1,5 m.
2 - Drogeria		Placas a proteger a porta da loja com 0,4 m de altura para impedir entrada de água
3 - Barbearia	Rua Luísa Todi, nº 142, junto do cruzamento com a Rua Dr. António Joaquim Granjo	Nunca se verificou a entrada de água na barbearia, uma antiga sarjeta que existia próximo (antes das obras que contemplaram a colocação de colectores de diâmetro muito superior ao anteriormente existente) por vezes entupia e originava um alagamento localizado
4 - Barbearia	Rua Luísa Todi nº 212, entre os cruzamentos das ruas do Postigo e São Cristóvão	De acordo com informação do proprietário que está no estabelecimento há 45 anos, nunca se verificaram cheias nesta avenida

Continuação do Quadro 33 - Visita ao local com recolha de informação sobre cheias

5 - Mercado	Rua Oriental do Mercado	De acordo com informação de vendedores mais antigos nunca se verificaram cheias no mercado
6 - Restaurante	Rua Tenente Valadim	De acordo com informação de um antigo funcionário o escoamento em cheia nunca atinge aquele local. Em dias de temporal e maré cheia, por vezes o paredão é galgado pelo mar, e atinge, na rua junto ao restaurante, cerca de 0,10 m.
7 - Escola Secundária Sebastião Gama	Av. 22 de Dezembro	De acordo com informação de funcionário da PSP que em Nov 83 frequentava esta escola a água terá atingido 0,20 m



23

08/04/1951 - Bonfim e Botaréu do largo do Matadouro



24

08/04/1951 - Bonfim e Botaréu do largo do Matadouro



25

Fev 1941 - Ciclone que assolou país. O mar galgou as muralhas e inundou Avenida Luísa Todi



26

Jun 1973 - Avenida Luísa Todi e Rua Santo António



27
Jun 1973 - Rua Santo António



28
Jun 1973 - Rua Santo António



29
Dez 1965 - Rua Major Afonso Pala



30
Dez 1965 - Av. Luísa Todi



31
Dez 1965 - Rua Santo António



32
1959 - Rua Santo António



33
1959-Rua Major Afonso Pala



34
1986 - Rua Major Afonso Pala



35
1986 - Rua Major Afonso Pala

Ilustração 9 – Fotografias 23 a 35

No Quadro 34 apresentam-se para cada secção de cálculo os resultados da simulação efetuada.

Quadro 34 - Resultados da simulação efetuada para os caudais afluentes para T = 100 anos referentes à situação atual

LINHA DE ÁGUA	SECÇÃO TRANSVERSAL / SECÇÃO DE CÁLCULO	PASSAG EM HIDRÁULICA	DISTÂNCIA ENTRE PERFIS (m)	Q TOTAL (m ³ /s)	COTA DE TALVEGU E (m)	COTA DA SUPERFÍCIE LIVRE (m)	LARGURA SUPERFICIAL (m)	ALTURA DE ÁGUA MÁXIMA (m)
Ribeira do Alcube/Figueira	1.12		200,00	14,00	30,70	31,93	4,97	1,23
		3,5						
	1.11		200,00	14,00	26,20	27,74	5,59	1,54
	1.10		200,00	14,00	24,00	24,95	52,23	0,95
	1.9		200,00	14,00	19,20	20,65	5,39	1,45
	1.8		200,00	15,00	16,30	17,43	5,56	1,13
	1.7		162,40	15,00	13,50	15,43	19,13	1,93
	1.6		237,60	25,00	12,00	14,83	58,71	2,83
		3,4						
	1.5		200,00	25,00	8,90	11,48	3,00	2,58
		3,3						
	1.4		200,00	25,00	8,00	10,66	6,89	2,66
		3,2						
	1.3		182,00	25,00	6,50	8,92	52,82	2,42
		3,2 A						
	1.2		151,20	25,00	5,00	6,50	273,28	1,50
	3,1							
1.1				39,50	3,50	6,50	354,16	3,00
Ribeira de Grelhal	1.6.2		200,70	13,10	14,80	16,09	5,60	1,29
	1.6.1		136,10	13,10	12,50	15,32	20,86	2,82
		3,7						
1.6				13,10	12,00	14,83	58,43	2,83
Ribeira de São Paulo	2.6		200,00	18,00	17,00	18,39	89,16	1,39
	2.5		200,00	18,00	13,30	14,67	111,17	1,37
	2.4		200,00	18,00	10,60	11,84	78,10	1,24
	2.3		167,70	18,00	8,70	10,32	80,45	1,62
	2.2		298,00	18,00	8,50	10,11	51,61	1,61
		3,12						
		3,10						
2.1				18,00	8,30	9,57	86,94	1,27

Continuação Quadro 34 - Resultados da simulação efetuada para os caudais afluentes para T = 100 anos referentes à situação atual

LINHA DE ÁGUA	SECÇÃO TRANSVERSAL / SECÇÃO DE CÁLCULO	PASSAG EM HIDRÁULICA	DISTÂNCIA ENTRE PERFIS (m)	Q TOTAL (m ³ /s)	COTA DE TALVEGU E (m)	COTA DA SUPERFÍCIE LIVRE (m)	LARGURA SUPERFÍCIE L (m)	ALTURA DE ÁGUA MÁXIMA (m)
Ribeira do Livramento	3.9		200,00	45,90	14,80	17,06	97,27	2,26
	3.8		199,80	45,90	13,00	15,22	98,34	2,22
	3.7		201,80	45,90	12,60	14,93	723,52	2,33
		3,21						
	3.6		198,40	67,70	12,30	14,81	405,58	2,51
		3,20						
		3,19						
		3,18						
	3.5		200,00	67,70	10,30	12,88	321,51	2,58
	3.4		213,20	67,70	7,90	10,28	285,87	2,38
		3,17						
	3.3		102,70	67,70	7,40	9,66	492,85	2,26
	3.2		107,40	67,70	6,90	9,52	515,49	2,62
	3.1 B		92,30	67,70	6,50	9,51	578,22	3,01
3.1 A		113,30	67,70	5,90	9,51	673,5	3,61	
	3,16							
3.1				67,70	5,60	9,50	693,23	3,90
Ribeira da Gamita	3.6.5		200,00	15,40	19,20	20,46	54,00	1,26
		3,31						
		3,30						
	3.6.4		200,00	15,40	18,20	20,04	78,67	1,84
		3,29						
	3.6.3		200,00	15,40	13,30	15,24	55,25	1,94
	3.6.2		200,00	15,40	13,00	14,92	153,76	1,92
	3.6.1		57,40	17,80	12,60	14,82	307,27	2,22
		3,28						
3.6				17,80	12,30	14,81	409,82	2,51

Fonte: PROCESL, 2011

De acordo com os resultados obtidos e com a análise já efetuada apresenta-se no Quadro 35 as principais soluções preconizadas para cada curso de água desta área de drenagem.

Quadro 35 - Principais problemas do comportamento hidráulico da Área de Drenagem Figueira / Livramento e respetivas soluções preconizadas

SUB-TROÇO	PROBLEMA	SOLUÇÃO PRECONIZADA
3.1 - Ribeira da Figueira	<ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente capacidade de vazão do trecho final coberto. - Inexistência de locais com características e dimensões suficientes para eficaz amortecimento de cheias. - Elevado transporte sólido. - Cheias frequentes e gravosas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Máximo amortecimento de cheias possível a montante do eixo viário à entrada de Setúbal (bacia de retenção de montante - Estudo de Defesa contra Cheias de Setúbal em elaboração pelo INAG). - Máximo amortecimento de cheias possível nas bacias de retenção entre a margem esquerda da ribeira e a variante da Várzea e a Norte da Variante da Várzea - Estudo de Defesa contra Cheias de Setúbal em elaboração pelo INAG. - Desvio de caudal (para um novo coletor designado novo coletor da ribeira da Figueira e descarga do caudal excedentário no coletor existente sob a cidade - Estudo de Defesa contra Cheias de Setúbal em elaboração pelo INAG).
3.2 - Ribeira de São Paulo	<ul style="list-style-type: none"> - Agravamento da capacidade de vazão muito insuficiente da passagem hidráulica imediatamente a montante do jardim de Vanicelos caso, não sejam mantidas as bacias de retenção naturais existentes a montante da Estrada Nacional EN 531. - Cheias frequentes e gravosas caso não seja mantida a bacia de retenção do jardim de Vanicelos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Manter as bacias de retenção naturais existentes a montante da Estrada Nacional EN 531 - Regularização da Ribeira da Figueira efectuada a nível de Estudo Prévio pela PROCESL (INAG, 2001). - Manutenção da bacia de retenção do jardim de Vanicelos.
3.3 - Ribeira da Pedreira	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado transporte sólido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Construção de três pequenos açudes de retenção de sedimentos ao longo do leito da ribeira com 0,50 m de altura.
3.4 - Ribeira do Livramento	<ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente capacidade de vazão do trecho final coberto. - Cheias frequentes e gravosas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Máximo amortecimento de cheias possível a montante do trecho canalizado coberto final - Estudo de Defesa contra Cheias de Setúbal em elaboração pelo INAG. - Máximo amortecimento de cheias na projetada bacia de retenção, a montante da via rápida - Estudo de Defesa contra Cheias de Setúbal em elaboração pelo INAG.
3.5 - Trecho canalizado coberto da cidade de Setúbal	<ul style="list-style-type: none"> - Precárias condições de segurança. - Reduções pontuais das secções de vazão devido a infraestruturas de habitações. - Reduzida capacidade de vazão. 	<ul style="list-style-type: none"> - Análise, ampliação e remodelação da secção de vazão - Estudo de Defesa contra Cheias de Setúbal em elaboração pelo INAG.

Fonte: PROCESL, 2011

5.8. Zonas de risco – Carta de Risco

Com base no cenário escolhido para o retorno de cheias de 100 anos, este perigo têm uma probabilidade de Média - Baixa no Concelho de Setúbal, a vulnerabilidade é diferente nas várias zonas atingidas, pelo que foi identificado o grau de risco para as diferentes zonas, em relação às pessoas e viaturas, constante no Anexo 3 – Mapa 5 - Carta de Risco.

A área de risco reduzido ocupa 1,807420 Km², a área de risco moderado ocupa 0,453235 Km², a área de risco elevado ocupa 0,0779372 Km² e a área de risco extremo ocupa 0,0317432 Km².

Estas áreas de risco, agora identificadas permitem à população saber quais as zonas a evitar, tanto na deslocação a pé como em viatura, aquando o evento caracterizado ocorrer, bem como as medidas a serem tomadas pelas autoridades.

6. Considerações finais

Foram limitadores ao estudo o acesso a dados ou inexistência dos mesmos, em relação aos vários elementos expostos que poderiam serem analisados e cartografados, bem como a definição dos critérios para os graus de risco associados a cada um.

No entanto foram identificados problemas que conduzem à definição de dois tipos de medidas estruturais, nomeadamente:

- Aumento da capacidade de vazão das redes nos trechos críticos;
- Retenção de sedimentos.

No presente capítulo apresentam-se as principais medidas não estruturais que se consideram adequadas à minimização dos efeitos negativos no sistema de drenagem pluvial das bacias do concelho de Setúbal, em resultado das intervenções no território, sobretudo relacionadas com as novas urbanizações. Estas medidas têm como objetivo central a proteção da rede de coletores de águas pluviais do concelho, especialmente no sentido de garantir a capacidade de vazão.

Algumas das medidas de carácter não estrutural identificadas aplicam-se à totalidade da área abrangida pelas bacias do concelho de Setúbal, por se tratar de medidas genéricas. Outras, são aplicáveis em função das principais classes de uso e ocupação atual do solo, tendo em conta a análise das zonas críticas de intervenção consideradas prioritárias e previstas no “Plano de Drenagem Pluvial do Concelho de Setúbal” (PROCESL, 2011).

Foi dado especial realce na análise e identificação das medidas de minimização a adotar nas áreas críticas do concelho, que do ponto de vista ambiental devem ser salvaguardadas e que constituem áreas de certa forma sensíveis, importantes nas decisões de aprovação de planos urbanísticos.

As medidas de minimização propostas incluem várias ações e recomendações e visam minimizar e/ou salvaguardar potenciais ações de degradação negativas do ponto de vista ambiental, e de salvaguarda da qualidade ambiental das zonas urbanas existentes e previstas para o concelho, sem perder de vista o objetivo imediato de proteção do sistema de drenagem de águas pluviais do concelho.

Pretende-se que as medidas específicas propostas promovam a redução da magnitude de potenciais impactes e, se possível, contribuam para a redução da importância dos mesmos e potenciem impactes positivos.

6.1. Medidas gerais

Consideram-se medidas gerais não estruturais, aquelas que têm como âmbito espacial a generalidade do território e que decorrem das ações de manutenção e gestão da rede de drenagem pluvial, quer seja a rede de coletores pluviais, quer sejam os cursos de água.

As principais medidas são as mencionadas in PROCESL, 2011:

- *“Reforço das ações de fiscalização das obras nas urbanizações em construção, verificando sistematicamente os procedimentos em uso pelos construtores e pessoal afeto às obras, sobretudo os procedimentos com vista à remoção de matéria vegetal e movimentos de terras associadas às escavações e aterros; a proteção das terras movimentadas, contra a erosão e arrastamento para a rede de drenagem, é um dos principais aspetos a fiscalizar;*
- *Reforço das ações de limpeza das sarjetas/sumidouros por forma a mantê-las desimpedidas a maior parte do tempo possível. O carácter mediterrâneo do clima, com chuvadas inesperadas e abundantes, recomenda a limpeza frequente das sarjetas/sumidouros e não apenas no período chuvoso. É frequente verificar-se o entupimento daquelas sarjetas/sumidouros por ocasião das primeiras chuvas;*
- *Promover campanhas de sensibilização ambiental junto dos construtores com vista a serem dadas instruções ao pessoal no sentido do cumprimento integral das regras de proteção ambiental. Para o efeito poderão ser elaborados folhetos explicativos dos procedimentos ambientalmente adequados com vista à sua distribuição pelos agentes afetos às ações de construção nas urbanizações;*
- *Incentivar programas de reflorestação e manutenção da cobertura vegetal para minimizar a produção de sedimentos nas áreas de maior declive e de cabeceira das bacias hidrográficas;*
- *Definição de programas de acompanhamento ambiental das novas urbanizações.”*

6.2. Perspetivas futuras

Como este estudo só foi caracterizado para o cenário de um período de retorno de 100 anos, futuramente deveria ser equacionado o estudo para mais cenários, nomeadamente de 5, 10, 20 e 50 anos.

Os graus de risco em relação à vulnerabilidade só contemplaram as pessoas, pelo que os restantes elementos expostos deviam ser considerados, nomeadamente o impacto nos edifícios de serviços e no património histórico, em que as alturas de

água a considerar serão diferentes, pois os impactos também serão diferentes. Após esta caracterização poder-se-ia cruzar todas as cartas de risco por elementos expostos individualizados, identificando as zonas de risco para todos os elementos expostos, e propor soluções para minimizar o risco.

Neste estudo não foi considerado as cheias e inundações costeiras, que poderiam afetar a zona ribeirinha junto ao Rio Sado, pelo que poderia ser objeto de estudo.

7. Conclusão

Relativamente à Área de Drenagem Livramento / Figueira, atendendo a que a bacia de drenagem apresenta deficientes condições de escoamento durante a ocorrência de caudais associados a precipitações intensas, os quais são mais gravosos no atravessamento da zona densamente urbanizada da Cidade de Setúbal, esta Área de Drenagem, é considerada prioritária no desenvolvimento do Plano de Águas Pluviais.

A ocorrência de precipitação elevada afeta de modo muito significativo a cidade de Setúbal, na qual se têm verificado grandes cheias associadas a elevados prejuízos materiais.

Para as bacias hidrográficas das ribeiras da Figueira e do Livramento foram efetuados anteriormente vários estudos dos quais se destacam os realizados pelo LNEC em 1986, pela HIDROQUATRO em 1992 e pela PROCESL em 2001.

Os trechos finais das ribeiras da Figueira, Livramento, ribeira de S. Paulo e outros pequenos cursos de água terminam na rede de coletores da Cidade de Setúbal, a qual apresenta secções de vazão com capacidade muito insuficiente e estreitamentos localizados. Esta situação é principalmente relevante quando da simultaneidade de ocorrência de precipitações intensas e preia-mar.

Como principais soluções preconizadas para atenuação dos problemas existentes durante a ocorrência de precipitação intensa é recomendado para a ribeira da Figueira o máximo amortecimento possível a montante do eixo viário à entrada de Setúbal de onde se salienta a designada “bacia de retenção de montante”, no jardim de Algodeia (já existente) e ainda o desvio de caudal por um novo coletor a construir com capacidade para cerca de 30 m³/s. Para a ribeira do Livramento as medidas preconizadas indicam o máximo amortecimento de cheias a montante do trecho canalizado coberto sob Setúbal nomeadamente na bacia de retenção projetada a montante da via rápida.

As redes de águas pluviais da Área de Drenagem correspondente a Livramento / Figueira drenam para a rede de coletores que se desenvolve sob a Cidade de Setúbal a qual como referido anteriormente apresenta deficientes condições de drenagem quando da ocorrência simultânea de precipitações intensas e situações de preia-mar.

As redes Pluviais desta Área de Drenagem são de difícil análise pois apresentam muitas ligações alternativas e conforme referido anteriormente drenam também os caudais provenientes das linhas de água. As ligações alternativas derivam do deficiente funcionamento em situação de precipitação intensa e têm como objetivo uma drenagem mais fácil que obvie os problemas de sobrecarga de alguns troços.

Com base no estudo desenvolvido verifica-se que na zona da Cidade os coletores pluviais encontram-se muito subdimensionados, carecendo de estudos de pormenor os quais deverão integrar os trechos finais cobertos dos cursos de água.

A nível de Plano e de acordo com as redes seleccionadas para amostragem verifica-se que muitos são os trechos das redes com capacidade de vazão deficiente mesmo para o período de retorno de 2 anos. Para períodos de retorno de 5 ou mais anos quase toda a rede apresenta capacidade de drenagem insuficiente.

É importante salientar que as soluções propostas nos estudos efetuados pela PROCESL não foram ainda executadas. Neste contexto, as zonas identificadas nos estudos anteriores como tendo sido afetadas no passado pelas cheias continuam vulneráveis a esse mesmo risco.

Com elaboração de cartas de risco de inundações e cheias na cidade de Setúbal foram identificadas as zonas em planta com os graus de risco associado para as pessoas, sendo no entanto recomendáveis estudos futuros para melhor caracterização das zonas aos vários elementos expostos.

A análise e a avaliação de risco na ocorrência de eventos extremos hidrometeorológicos foram explanadas.

8. Referências bibliográficas

ANPC (2009) – “*CADERNOS TÉCNICOS PROCIV 9: Guia para a caracterização de Risco no Âmbito da Elaboração de Planos de Emergência de proteção Civil.*” Setembro de 2009. Autoridade Nacional de Proteção civil. Lisboa

Almeida, A. B.; Ramos, C. M.; Santos, M. A.; Viseu, t. (2003). “*Dam Break Flood Risk Management in Portugal.*” Lisboa, Ed: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Antão da silva, P. A. (1996) – “*Avaliação Multicritério de Medidas de Controlo de Cheias de um Ponto de Vista Ambiental*”, Lisboa, IST.

Antão da silva, P.; Bana e Costa, C.; Nunes Correia, F.(1996) – “*Avaliação multicritério das incidências ambientais de medidas de controlo de cheias: o caso da ribeira do livramento*”, Lisboa.

Areosa, J. (2005). “*A hegemonia contemporânea dos “novos” riscos.*” In: Guedes Soares et al. (Orgs), “*Análise e gestão de riscos, segurança e fiabilidade*”. Lisboa, Ed: Instituto Superior Técnico.

Balaji, D.; Sankar, R.; Karthi, S. (2005). “*GIS approach for disaster management through awareness – an overview.*” Disponível na WWW: URL: http://www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards/overview/nho0012.htm
Consultado 23 de Janeiro 2013

Blaikie, P.; Cannon, T.; Davis, I.; Wisner, B. (1996). “*Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres*”. Colômbia, Ed: Tercer Mundo Editores.

Brandão, C. (1995) – “*Análise de precipitações intensas.*” Universidade Técnica de Lisboa. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Lisboa.

Brandão, C. e Rodrigues, R. (1997) – “*Precipitações intensas em Portugal Continental para períodos de retorno até 1000 anos.*” DSRH-INAG, Lisboa, Junho

Brandão, C; Rodrigues, R. e Costa, J. (2001) – “*Análise de fenómenos extremos, precipitações intensas em Portugal continental.*” DSRH-INAG, Lisboa. Dezembro.

CCDR-LVT (2009) - “*Reserva Ecológica Nacional. Documento de apoio à delimitação. Fichas técnicas por tipologia de área (Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de Agosto)*”, Comissão de Coordenação Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Janeiro de 2009, Lisboa.

Chow, V. T.; Maidment, D. R.; E Mays, L., W. (1988) – “*Applied Hydrology.*” McGraw Hill International Editions. Civil Engineering series.

CNREN (2010). “*Projecto de Orientações Estratégicas de âmbito Nacional*”; Projecto de Esquema Nacional de Referência. DGOTDU.

Colt, N. (2006). “*A gestão do risco de desastres como parte do planeamento local*”. In: @local.glob, Pensamento Global para o Desenvolvimento Local. Nº 3, Ed: Programa Delnet.

Correia, F.N. (1984) – “*Proposta de um método para a determinação de caudais de cheia em pequenas bacias naturais e urbanas.*” Lisboa: ITH n. 6, LNEC.

Correia, F. N. et al.(1996) - “*Innovative Approaches to Comprehensive Floodplain Management. A Framework for Participatory Valuation and Decision Making in Urban Developing Areas*”. IST Contribution for EUROflood 2 Project”, EUROflood, Lisboa, IST.

Decreto-lei nº 115/2010. “*Quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.*” versão online no site: <http://dre.pt/pdf1sdip/2010/10/20600/0475704764.pdf>. consultado em 16 de Janeiro de 2013.

De cicco, F.; Fantazzini, M. L. (1993). “*Introdução à engenharia de segurança de sistemas.*” 3ª Edição. São Paulo, Ed: Fundacentro.

De Marchi, B.; Funtowicz, S.; Ravetz, J., (2000). “*O Acidente Industrial Ampliado de Seveso: Paradigma e Paradoxo.*” In: Freitas, C. M, Porto, M. F. S.; Machado, J. M. H.,

(2000). “*Acidentes Industriais Ampliados Desafios e Perspectivas para o Controle e a Prevenção.*” Rio de Janeiro, Ed: Fiocruz, V.1.

Directiva nº 2007/60/CE. “*Avaliação e gestão dos riscos de inundações. European Parliament and of the Council.*” versão online no site: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:EN:PDF>. consultado em 16 de Janeiro de 2013.

Dubois-Maury, J.; Chaline, C. (2002). “*Les risques urbains*”. Paris, Ed: Armand Colin.

Ferreira, A. B. H. (1986). “*Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa*”. Rio de Janeiro, Ed: Nova Fronteira.

Fiorino, D. J. (1989). “*Technical and Democratic Values in Risk Analysis.*” In: Risk Analysis, 9.

Granger K. e Hayne M. (2001). “*Natural Hazards & the Risks they pose to South-East Queensland.*” Department of Industry, Science and Resources, Minister of Industry, Science and Resources, Australian Geological Survey Organization’s (AGSO) Geoscience’s Australia. Disponível na WWW: URL: <<http://www.agso.gov.au/urban/projects/archive/southesat-queensland.jsp>>, South-East Queensland. Consultado 20 de janeiro 2013

Goodchild, M.F.; Lam, N. (1980) “*Areal interpolation: A variant of the traditional spatial problem*”. Geoprocessing, 1:297-312.

Huguenard, P. (1996). “*Traité catastrophes de la stratégie d’intervention à la prise en charge médicale*”. Paris, Ed: Elsevier

INAG (2009) “*Defesa contra cheias na Cidade de Setúbal*”. Estudo Prévio. INAG, 2009.

ISDR – International Strategy for Disaster Reduction. (2004). “*Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives*”. Geneva: UN/ISDR

Julião, R.P.; Nery, F.; Ribeiro, J.L.; Castelo Branco, M.; Zêzere, J.L. (2009) – “*Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal. Autoridade Nacional de Protecção Civil*”, Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Instituto Geográfico Português.

Kirpich, Z.P. (1940) – “*Time of concentration in small agricultural watersheds.*”, Civil Engineering, v. 10, n. 6, p.362.

Lança, R.M.M. (2000) – “*Contribuição para o estudo de cheias recorrendo a um modelo distribuído*”. Portugal: Universidade de Évora.

Lavell, A. (2003). “*La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica*”. Guatemala, Ed: CEPREDENAC/PNUD.

LNEC (1986) *Estudo Hidrológico e Hidráulico das Cheias na Cidade de Setúbal; 1º Relatório - “Caracterização das Bacias Hidrográficas e Estudo Hidrológico”, de Outubro de 1986 (Relatório 245/86-NHHF)*

LNEC (1986) *Estudo Hidrológico e Hidráulico das Cheias na Cidade de Setúbal; 2º Relatório- “Estudo Hidráulico e Conclusões”, de Novembro de 1986 (Relatório 246/86 - NHHF).*

LNEC (1992) “*As Cheias em Portugal. Caracterização das Zonas de Risco.*” 2º Relatório. Bacia Hidrográfica do Rio Sado, LNEC, Outubro 1992.

LNEC (1995) “*As Cheias em Portugal. Caracterização das Zonas de Risco.*” 4º Relatório. Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, LNEC, reimpresso em Maio de 1995.

Murck, B. W.; Skinner, B. J.; Porter, S. C. (1996). “*Environmental Geology*”. New York, Ed: John Wiley & Sons, Inc.

MARN (Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais) - “*Bacia de Retenção de Cheias da Ribeira do Livramento. Projecto de Execução. Vol.1 - Memória Descritiva e Justificativa*”. Lisboa, Hidroquatro, 1992.

Matos, R.; Silva, M. (1986) – “*Estudos de precipitação com aplicação no projecto de sistemas de drenagem pluvial. Curvas Intensidade-Duração-Frequência da Precipitação em Portugal.*” ITH 24. LNEC. Lisboa.

Oxley, M. (2005). “*Respondendo a desastres.*” Tearfund Internacional Learning Zone. Disponível na WWW: URL: <http://tilz.tearfund.org/Portugues/Passo+a+Passo+5160/Passo+a+Passo+56/Respondendo+a+os+desastres.htm> Consultado a 24 de Janeiro de 2013

Oxford. (1990). “*Oxford Advanced Learner’s Dictionary.*” Oxford, Ed: Oxford University Press.

Panizza, M. (1990) – “*Geomorfologia applicata. Metodi di applicazione alla Pianificazione territoriale e alla Valutazione d’Impatto Ambientale*”. La Nuova Italia Scientifica, Roma.

Pearson, E.; Wadge, G.; Wiscoski, A. P. (1991). “*An Integrated Expert System/GIS Approach to Modelling and Mapping Natural Hazards.*” In: European Conference on GIS (EGIS, 91), Brussels Proceedings. Belgium, Editora: EGIS Foundation, Session 26.

Pimenta, M. T. (1999) – “*Directrizes para a aplicação da Equação Universal de Perda do Solo, Factor de Cultura C e Factor de Erodibilidade do Solo K*”, Instituto da Água (INAG), Lisboa.

PROCESL (2001) - “*Regularização da ribeira do Livramento. Proteção contra Cheias na Cidade de Setúbal. Projeto de Execução*”, C. M. Setúbal.

PROCESL (2011) - “*Plano de Drenagem Pluvial das bacias do concelho de Setúbal, 2ª fase - Relatório Final*” (Memória descritiva e justificativa), C. M. Setúbal.

Ramos, C.; Zêzere, J.L.; Reis, E.; Mendonça, J.L. (2010) – “*Reserva Ecológica Nacional da Área Metropolitana de Lisboa*” – Quadro de Referência Regional. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Lisboa.

Ramos, C.; Zêzere, J.L.; Reis, E.; Mendonça, J.L. (2008) – “*Reserva Ecológica Nacional do Oeste e Vale do Tejo*” – Quadro de Referência Regional. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, Lisboa.

Reis, E. (2011) - “*Análise de bacias hidrográficas, susceptibilidade à ocorrência de cheias e Sistemas de Informação Geográfica: da definição do quadro conceptual até à proposta de um modelo de avaliação*”, VIII Congresso da Geografia Portuguesa, APG, Lisboa, 6 p, CD-ROM SIG-130-598-2.

Rego, F.C., Correia, F. (2000) – “*Utilização de sistemas de informação geográfica (SIG) e de modelação hidrológica e hidráulica na delimitação de leitos de cheia*”. Revista Recursos Hídricos, v. 21, n. 2, p.27-36.

Smith, K. (2000). “*Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster.*” Florence, Ed: Routledge Publisher.

Strahler, A.H.; Strahler, A.N. (2005). “*Physical Geography: Science and systems of the Human Environment*”. Wiley, New York, 794p.

Temez, J.R. (1978) “*Calculo hidrometeorologico de caudales maximos em pequenas cuencas naturales*”. Madrid: Ministério de Obras Publicas y Urbanismo (MOPU). Direccion General de Carreteras, n. 12.

UNDP – United Nations Development Programme. (2004). “*Reducing disaster risk: a challenge for development*”. New York, USA, Ed: UNDP.

Winchester, P. (1992). “*Power, Choice and Vulnerability*. London,” Ed: James&James.

9. Anexos

Anexo 1 – Mapa – 2 – Indivíduos Residentes na área inundável

Mapa – 3 – Edifícios na área inundável

Mapa – 4 – Equipamentos Localizados na área inundável

Anexo 2 - Mapa – 1 – Área Inundável da Cidade de Setúbal para um período de retorno de 100 anos.

Anexo 3 – Mapa – 5 – Carta de Risco de Inundação da Cidade de Setúbal para um período de retorno de 100 anos, efeitos para as pessoas.