

**Modelos de apoio à decisão para gestão de riscos de  
cheias em bacias hidrográficas urbanizadas.**

**Telma Cristina de Figueiredo Gaspar**

Dissertação para a obtenção do Grau em Mestre em

**Engenharia do Ambiente**

**Júri**

Presidente: Doutor José Manuel de Saldanha Gonçalves Matos  
Orientador: Doutor António Nuno Fernandes Gonçalves Henriques  
Vogal: Doutor Rodrigo de Almada Cardoso Proença de Oliveira

**Setembro de 2013**



## Agradecimentos

Por todo o apoio e carinho que recebi durante todo o meu percurso académico.

Antes de mais, quero agradecer ao Professor António Gonçalves Henriques, por toda a paciência e ajuda que me deu nestes últimos meses.

À Câmara Municipal de Oeiras, em especial à Eng<sup>a</sup>. Cristina Garret, pela ajuda e disponibilidade demonstrada.

Ao meu primo João, que tornou um verão de trabalho mais suportável.

A todos os meus amigos, pelo interesse e apoio que me deram e à minha família por todo o incentivo.

Mas em especial, agradeço aos meus pais por me ajudarem a ser quem eu sou.

## Resumo

A presente dissertação pretende estudar a influência que o crescimento urbano em bacias hidrográficas tem no risco de cheias, com especial enfoque para as cheias rápidas.

Como caso de estudo considerou-se a bacia hidrográfica da Ribeira da Laje (área de cerca de 41km<sup>2</sup>), situada nos conselhos de Sintra, Oeiras e Cascais, onde já ocorreram várias situações de cheias rápidas e onde já se realizaram diversos estudos para caracterizar a situação e tentar encontrar soluções.

Com recurso ao modelo matemático HEC-HMS construiu-se um modelo da bacia hidrográfica da ribeira da Laje, onde se simularam, para vários eventos de precipitação, os caudais e os tempos de precipitação resultantes de diferentes níveis de impermeabilização do território.

Dos resultados obtidos realça-se a intensificação dos caudais de ponta com o aumento da impermeabilidade dos solos, e a diminuição dos respectivos tempos de ponta.

Na análise realizada pode-se, ainda, constatar a importância que a gestão do território tem na resposta da bacia hidrográfica à ocorrência de cheias, pelo que se destaca a necessidade de uma gestão integrada por parte de todos os órgãos de decisão integrantes na sua área ou que se situem em áreas com influência directa na bacia hidrográfica, nomeadamente a jusante.

Por fim, realça-se a importância que os planos de protecção e minimização do risco de cheias podem ter na mitigação dos danos provocados pelas cheias, e da necessidade de estes se adaptarem a cada caso e compreenderem na sua criação todos os agentes de interesse, desde políticos até locais.

**Palavras-chave:** cheias rápidas, modelação hidrológica, urbanização, caudal de ponta, bacia hidrográfica

## Abstract

The main goal of this thesis is to study the influence of urbanization over flood risks in watersheds, with special focus on flash-floods.

As a case study we considered the watershed Ribeira da Laje (area about 41km<sup>2</sup>), situated on the boards of Sintra, Cascais and Oeiras, where flash-floods occurred in the past and studies to characterize the situation and find solutions were already done.

The mathematic model HEC-HMS was used to built a model of Ribeira da Laje watershed, and we were able to compute the peak flow and the corresponding time for different events of precipitation, for variable levels of soil sealing.

Of the results we can highlight the intensification of the peak flow with increased impermeability of soils and decrease of the respective time of peak.

Of the analysis done we can verify the importance of territory management for the response of a watershed to floods. Being so, we highlight the necessity of an integrated management that includes all the decision makers situated in the watershed's area, or in some other place that can influence directly the watershed.

Finally, we highlight the importance that protection and mitigation's plans can have in the impacts of floods, and also the necessity that they be made having in account all the stakeholders, from politicians to the public, and the need of flexibility to adjust to every case.

**Keywords:** flash-floods, hydrologic modeling, urbanization, peak flow, watershed

# Índice

1	Introdução.....	12
1.1	Objectivos.....	12
1.2	Método.....	12
1.3	Organização do texto .....	13
2	Revisão Bibliográfica .....	14
2.1	Cheias rápidas.....	14
2.1.1	Factores de influência.....	14
2.2	Urbanização.....	16
2.2.1	A urbanização e o ciclo hidrológico .....	17
2.2.2	Impermeabilização dos solos e o risco de cheias .....	20
2.2.3	Hidrograma de cheias.....	22
2.3	Métodos de minimização dos efeitos de cheias.....	27
2.3.1	Prevenção.....	27
2.3.2	Protecção.....	29
2.3.3	Preparação .....	33
2.3.4	Resposta de emergência.....	33
2.3.5	Recuperação e experiência adquirida .....	34
3	Enquadramento legal da protecção de cheias na Ribeira da Laje.....	35
3.1	Directiva 2007/60/CE e Decreto-Lei nº 115/2010 .....	35
3.2	Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo.....	37
3.3	Reserva Ecológica Nacional.....	39
3.4	Zonas Adjacentes .....	40
4	Caracterização da Ribeira da Laje .....	42
4.1	Localização.....	42
4.2	Características Geométricas .....	43
4.2.1	Área e Perímetro .....	43
4.2.2	Índice de Compacidade.....	43
4.2.3	Factor de Forma .....	44
4.2.4	Índice de Alongamento e Rectângulo Equivalente.....	44

4.3	Características do Sistema de Drenagem.....	45
4.3.1	Ordem.....	45
4.3.2	Razão de Bifurcação .....	46
4.3.3	Densidade de Drenagem e Percurso Médio Sobre o Terreno .....	46
4.4	Características do Relevo .....	47
4.4.1	Curva Hipsométrica .....	47
4.4.2	Altura Média.....	48
4.4.3	Perfil do Rio .....	49
4.4.4	Declives do Leito .....	49
4.4.5	Declive da Bacia Hidrográfica .....	50
4.5	Geologia .....	51
4.6	Clima.....	52
4.7	Solos .....	52
4.8	Evolução da ocupação do território .....	53
4.9	Elementos de gestão da Ribeira da Laje .....	54
4.10	Historia de cheias na Ribeira da Laje.....	56
4.11	Secções Críticas.....	57
4.11.1	Talaíde.....	57
4.11.2	Povoação da Laje .....	58
4.11.3	Troço final: Do Largo Marquês do Pombal à Foz.....	59
5	Caracterização do regime de cheias .....	61
5.1	Introdução.....	61
5.2	Modelo da bacia hidrográfica .....	62
5.2.1	Método de perdas.....	65
5.2.2	Método de Transformação .....	66
5.2.3	Método de Propagação de Cheias .....	67
5.3	Modelo meteorológico .....	70
5.4	Resultados das simulações.....	74
5.4.1	Simulação I .....	74
5.4.2	Simulação II .....	75
5.4.3	Altura do escoamento.....	82

6	Conclusões .....	85
7	Bibliografia .....	88
7.1	Documentos Legislativos.....	93
8	Anexo I.....	94
9	Anexo II.....	96



## Índice de Figuras

FIGURA 2.1 CURVA DE CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO AO LONGO DO TEMPO, DO MODELO DE HORTON. (F0 - CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO INICIAL, FC - CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO FINAL) .....	16
FIGURA 2.2 CICLO HIDROLÓGICO NATURAL E URBANO. ADAPTADO: (HEALTHY WATERWAYS, 2011).....	18
FIGURA 2.3 CICLO DA ÁGUA URBANO: PRINCIPAIS COMPONENTES E RELAÇÕES. ADAPTADO: (UNESCO, 2006) .....	19
FIGURA 2.4 RELAÇÃO ENTRE A IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO E A QUALIDADE DA ÁGUA. ADAPTADO: (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2012) ....	22
FIGURA 2.5 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO HIDROGRAMA DE CHEIAS .....	23
FIGURA 2.6 REPRESENTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DO HIDROGRAMA UNITÁRIO. FONTE: (LENCASTRE & FRANCO, 1992).....	24
FIGURA 2.7 HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO DO SCS. ....	26
FIGURA 2.8 ESQUEMA DO HIDROGRAMA DE CHEIAS ANTES E APÓS A URBANIZAÇÃO. FONTE: (COLÉGIO SÃO FRANCISCO) .....	26
FIGURA 2.9 EXEMPLO DE ALTERAÇÃO NUM CANAL FLUVIAL. FONTE: (DIAS, 2006).....	30
FIGURA 2.10 EDIFÍCIO ELEVADO POR PILARES. ADAPTADO: (FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY 2009).....	31
FIGURA 2.11 EXEMPLO DE WETFLOODPROFFING. ADAPTADO: (FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY 2009) .....	31
FIGURA 2.12 EXEMPLOS DE PROTECÇÕES AO EXTERIOR DA HABITAÇÃO. ADAPTADO: (FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY 2009) .....	32
FIGURA 2.13 CICLO CONTÍNUO DE GESTÃO DOS RISCOS DE CHEIAS .....	34
FIGURA 4.1 LOCALIZAÇÃO DA RIBEIRA DA LAJE, NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO TEJO. FONTE: (APA, PLANO DE GESTÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO TEJO. REPOSITÓRIO DE MAPAS, 2012) .....	42
FIGURA 4.2 REPRESENTAÇÃO DA RIBEIRA DA LAJE. FONTE: (SARAIVA, CORREIA, & CARMO, 1998).....	43
FIGURA 4.3 CLASSIFICAÇÃO DA ORDEM DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	45
FIGURA 4.4 ÁREAS CONSIDERADAS PARA A CONSTRUÇÃO DA CURVA HIPSOMÉTRICA .....	47
FIGURA 4.5 CURVA HIPSOMÉTRICA DO CURSO DE ÁGUA PRINCIPAL DA RIBEIRA DA LAJE .....	48
FIGURA 4.6 PERFIL LONGITUDINAL DO CURSO DE ÁGUA PRINCIPAL.....	49
FIGURA 4.7 USO DE SOLO NA BACIA DA RIBEIRA DA LAJE. FONTE: (COSTA A. C., 2009).....	53
FIGURA 4.8 EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO DO SOLO EM OEIRAS, ENTRE 1947 E 2009. FONTE: (MUNICIPIA, 2011) .....	53
FIGURA 4.9 EVOLUÇÃO DAS ÁREAS EDIFICADAS NA RIBEIRA DA LAJE. FONTE: (SARAIVA, CORREIA, & CARMO, 1998).....	54
FIGURA 4.10 ÁREAS AFECTAS À REN NO CONCELHO DE OEIRAS. FONTE: (CÂMARA MUNICIPAL DE OEIRAS, 2013).....	55
FIGURA 4.11 TROÇOS DA RIBEIRA DA LAJE, NA POVOAÇÃO DE TALÁIDE. FONTE: (GOOGLE, 2013) .....	58
FIGURA 4.12 TROÇOS DA RIBEIRA DA LAJE, NA POVOAÇÃO DA LAJE. FONTE: (GOOGLE, 2013).....	58
FIGURA 4.13 TROÇOS DA RIBEIRA DA LAJE NA QUINTA DO MARQUÊS DO POMBAL. A) SITUAÇÃO DE NORMALIDADE. FONTE: (RIBEIRAS OEIRAS). B) CHEIAS DE 1996; c) CHEIAS DE 2008. FONTE: (MUNICIPIA, 2011).....	59
FIGURA 4.14 CHEIAS DE 2008, NO TROÇO FINAL DA RIBEIRA DA LAJE. FONTE: (MUNICIPIA, 2011) .....	60
FIGURA 5.1 CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS DE PROCESSOS HIDROLÓGICOS. ADAPTADO: (HIPÓLITO & VAZ, 2011) .....	61
FIGURA 5.2 SUB-BACIAS E CURSOS DE ÁGUA CONSIDERADOS NO MODELO. LEGENDA: SB- SUB-BACIA .....	63
FIGURA 5.3 MODELO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DA LAJE .....	65
FIGURA 5.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS CURVAS IDF OBTIDAS PELAS EXPRESSÕES DE: (CLÁUDIA BRANDÃO, 1998)(HIDO 4 E (MUNICIPIA, 2011)) .....	71
FIGURA 5.5 HIETOGRAMAS DE PRECIPITAÇÃO, PARA T=2, 10, 50, 100 E 500 ANOS.....	73
FIGURA 5.6 CAUDAIS DE PONTA VS IMPERMEABILIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA: CONFLUÊNCIA 7 .....	80
FIGURA 5.7 TEMPOS DE PONTA VS IMPERMEABILIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA: CONFLUÊNCIA 7 .....	80
FIGURA 5.8 CAUDAIS DE PONTA VS IMPERMEABILIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA: CONFLUÊNCIA 9 .....	80
FIGURA 5.12 CURVA DE ALTURA DE ESCOAMENTO NA CONFLUÊNCIA 7 .....	82
FIGURA 5.14 CURVA DE ALTURA DE ESCOAMENTO NA CONFLUÊNCIA 9 .....	83

FIGURA 5.13 CURVAS DE ALTURA DE ESCOAMENTO VS IMPERMEABILIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA: CONFLUÊNCIA 7 .....	83
FIGURA 5.15 CURVAS DE ALTURA DE ESCOAMENTO VS IMPERMEABILIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA: CONFLUÊNCIA 9 .....	83
FIGURA 5.16 CURVA DE ALTURA DE ESCOAMENTO NO TROÇO FINAL .....	84
FIGURA 5.17 ALTURA DE ESCOAMENTO VS IMPERMEABILIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA: TROÇO FINAL .....	84

## Índice de Tabelas

TABELA 3.1 MEDIDAS DE CARÁCTER DE PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO DO RISCO DE CHEIAS NA REGIÃO DA GRANDE LISBOA PREVISTAS NO PGRHT .....	38
TABELA 3.2 ÁREAS INTEGRADAS NA REN .....	40
TABELA 4.1 RAZÃO DE BIFURCAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	46
TABELA 4.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA BACIA DA RIBEIRA DA LAJE.....	51
TABELA 5.1 CARACTERÍSTICAS DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	64
TABELA 5.2 ELEMENTOS UTILIZADOS NO MODELO DA BACIA. ADAPTADO: (UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERING, 2010)	64
TABELA 5.3 PARÂMETROS UTILIZADOS NO MÉTODO DE MUSKINGUM .....	70
TABELA 5.4 EXPRESSÕES IDF .....	71
TABELA 5.5 IMPERMEABILIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS (%).....	74
TABELA 5.6 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO 1 ( $Q_p$ - CAUDAL DE PONTA; $T_p$ - TEMPO DE PONTA) .....	75
TABELA 5.7 IMPERMEABILIZAÇÕES SIMULADAS PARA CADA SUB-BACIA .....	76
TABELA 5.8 CAUDAIS DE PONTA E TEMOS DE PONTA OBTIDOS PARA A CONFLUÊNCIA 7 .....	77
5.9 CAUDAIS DE PONTA E TEMOS DE PONTA OBTIDOS PARA A CONFLUÊNCIA 9 .....	78
TABELA 5.10 CAUDAIS DE PONTA E TEMOS DE PONTA OBTIDOS PARA O TROÇO FINAL .....	79
TABELA 9.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO I (1). .....	96
TABELA 9.2 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO I (2) .....	98

## Índice de Figuras do Anexo II

FIGURA ANEXO II 1: VARIAÇÃO DE T E AMC: CONFLUÊNCIA 7 .....	99
FIGURA ANEXO II 2: VARIAÇÃO DE T E AMC: CONFLUÊNCIA 9 .....	99
FIGURA ANEXO II 3: VARIAÇÃO DE T E AMC: TROÇO FINAL .....	99
FIGURA ANEXO II 4: HIDROGRAMAS COM VARIAÇÃO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. CONFLUÊNCIA 7.....	99
FIGURA ANEXO II 5 HIDROGRAMAS COM VARIAÇÃO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. CONFLUÊNCIA 9.....	99
FIGURA ANEXO II 6 HIDROGRAMAS COM VARIAÇÃO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. TROÇO FINAL.....	99

## Lista de Siglas e abreviaturas

AIE - Área impermeável efectiva

All - Área impermeável inefectiva

AIT - Área impermeável total

HEC-HMS - Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System

HUD - Hidrograma unitário com duração D

HUS SCS - Hidrograma Unitário Sintético do *Soil Conservation Service*

NC - Número de escoamento

PDM - Plano Director Municipal

PEOT - Planos Especiais de Ordenamento do Território

PGBH - Planos de Gestão de Bacias Hidrográficas

PMEPC - Planos Municipais de Emergência e Protecção Civil

PMOT - Planos Municipais de Ordenamento do Território

PNA - Plano Nacional da Água

POAAP - Plano de Ordenamento de Albufeiras de Águas Públicas

POAP - Plano de Ordenamento de Áreas Protegidas

POE - Plano de Ordenamento dos Estuários

POOC- Plano de Ordenamento da Orla Costeira

PP - Plano de Pormenor

PU - Plano de Urbanização

REN - Reserva ecológica nacional

RHT - Região hidrográfica do Tejo

SCS - *Soil Conservation Service*

# 1 Introdução

## 1.1 Objectivos

A presente dissertação tem como grande objectivo estudar o impacte que a urbanização e a ocupação do território têm sobre a resposta de uma bacia hidrográfica à ocorrência de cheias, com especial enfoque para as cheias rápidas. Desta forma, pretende-se analisar as alterações nos hidrogramas de cheia, focando os caudais de ponta e os tempos de concentração, bem como os meios de protecção e mitigação existentes.

## 1.2 Método

Como caso de estudo escolheu-se a bacia hidrográfica da Ribeira da Laje, onde se tem verificado uma elevada expansão urbana nas últimas décadas e onde há registos de ocorrências de cheias rápidas.

Assim, começou-se por fazer uma revisão bibliográfica, onde se estudou o fenómeno das cheias rápidas e a sua relação com a urbanização, bem como a influência da urbanização nos hidrogramas de cheia e suas componentes. Analisaram-se, ainda, num panorama mais geral, os meios de protecção e mitigação contra cheias existentes.

De seguida, houve uma fase de caracterização e análise do local de estudo, onde se analisaram os vários documentos descritivos e de caracterização do local, com especial enfoque para os estudos de revisão dos PDM's de Sintra, Oeiras e Cascais, conselhos que abrangem a bacia hidrográfica da Ribeira da Laje, e outros estudos fornecidos pela Câmara Municipal de Oeiras, dos quais se destacam (Hidro4, 1988) e (Municipia, 2011). Também durante esta fase se realizaram todos os estudos que se julgaram indispensáveis à correcta caracterização da bacia hidrográfica, nomeadamente estudos geométricos e de sistema de drenagem, que foram feitos com recurso às cartas geológicas 1:25000, trabalhadas em AutoCAD. Analisou-se, também, o clima, os solos e a ocupação do território, sendo que, por dificuldade de obtenção de dados de monitorização fidedignos sobre o clima, foram utilizados estudos anteriores nesta análise. Ainda no seguimento de uma caracterização à bacia hidrográfica se identificaram os elementos de gestão da bacia hidrográfica.

Como uma perspectiva de protecção e mitigação das cheias, reviu-se, de seguida, a legislação, nacional e internacional vigente na Europa, e analisou-se a situação actual da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje de acordo com o previsto nos instrumentos legais.

Seguidamente construiu-se um modelo para a bacia hidrográfica da Ribeira da Laje, utilizando para tal o modelo HEC-HMS. Com este modelo realizaram-se simulações, para diferentes cenários de urbanização, para os períodos de retorno de 2, 10, 50, 100 e 500 anos e analisaram-se os resultados.

### 1.3 Organização do texto

A presente dissertação está organizada em seis capítulos.

O capítulo 1, parcialmente já apresentado, corresponde à introdução ao trabalho, referindo algumas considerações prévias à realização do trabalho, o objectivo deste e, por fim, a estrutura e organização do documento.

No capítulo 2 são apresentadas as bases teóricas do estudo, e corresponde à revisão bibliográfica realizada. Este capítulo está organizado no sentido de introduzir a problemática das cheias rápidas, apresentar métodos para o seu estudo e, por fim, encontrar soluções de mitigação.

No capítulo 3 apresenta-se um enquadramento legal para a protecção de cheias no local de estudo, bem como o previsto para a gestão futura da bacia hidrográfica

No capítulo 4 é identificada e caracterizada a bacia hidrográfica que constitui o caso de estudo, bem como as zonas mais críticas aquando da ocorrência de cheias passadas.

No capítulo 5 é introduzido o modelo matemático utilizado para o estudo de cheias. Apresentam-se, também, os hietogramas obtidos para área de estudo e o modelo criado da bacia hidrográfica em estudo. Por fim, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, nomeadamente os hidrogramas de cheia, os caudas de ponta e os tempos de ponta, com especial enfoque para as zonas críticas anteriormente identificadas.

No capítulo 6 são sistematizadas as conclusões retiradas do estudo realizado e sugeridos alguns estudos que dêem continuidade à análise efectuada.

Finalmente, no capítulo 7 apresentam-se as referências bibliográficas consultadas ao longo do trabalho.

## 2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo apresenta-se um resumo da bibliografia estudada que se considerou mais relevante para o desenvolvimento do trabalho. Assim, vão ser abordados os temas: cheias rápidas, urbanização e seus efeitos nas cheias, hidrogramas de cheia e medidas de prevenção e mitigação de cheias.

### 2.1 Cheias rápidas

De acordo com a Comissão Europeia, só entre 1998 e 2009, em toda a Europa, mais de 1120 pessoas morreram devido à ocorrência de cheias e as perdas económicas excederam os 52 biliões de euros (Agencia Europeia Ambiente,2010). Em Portugal existem registos de acontecimentos do mesmo tipo que resultaram em elevadas perdas humanas e económicas, como o caso das cheias de 1967 em Lisboa e Loures, com número de fatalidades estimadas em cerca de 700 e o caso de 1983 que afectou a região de Lisboa e Cascais que resultou em 10 mortes (Ramos & Reis, 2001).

De todos os tipos de cheias, devido às suas características e imprevisibilidade, as cheias rápidas são aquelas que mais danos causam, e ambos os exemplos portugueses corresponderam a situações de cheias rápidas (Barredo, 2006; Ramos & Reis, 2001).

As cheias rápidas são eventos hidrológicos que ocorrem num curto intervalo de tempo, normalmente inferior a seis horas (Borga et al, 2011), causados por chuvas intensas que provocam uma rápida saturação do solo e, conseqüentemente, elevados escoamentos superficiais. Este fenómeno é caracterizado por uma rápida subida do nível da água e grandes velocidades de escoamento, sendo, portanto, um acontecimento difícil de prever e que pode causar graves danos.

#### 2.1.1 Factores de influência

Uma bacia hidrográfica pode estar sujeita a precipitações intensas num curto intervalo de tempo sem que ocorram cheias rápidas. Tal vai depender das características da bacia hidrográfica, nomeadamente das características físicas e das propriedades do solo.

Qualquer factor que aumente a produção e velocidade do escoamento pode tornar uma bacia hidrográfica mais propícia à ocorrência de cheias rápidas. Assim, o declive, a forma, a densidade de drenagem e o relevo da bacia hidrográfica influenciam de forma relevante a resposta da bacia hidrográfica aos fenómenos de precipitação, podendo potenciar a ocorrência de cheias rápidas.

As cheias rápidas ocorrem principalmente em bacias hidrográficas de pequena dimensão, sendo 1000 km<sup>2</sup> um valor máximo referido frequentemente na bibliografia (Borga et al, 2011; Barredo, 2006). Contudo, a maioria dos casos observados ocorrem em bacias hidrográficas com áreas inferiores a 100 km<sup>2</sup> (Portela,2006). Também a forma da bacia hidrográfica influencia o comportamento das cheias, verificando-se que, para uma mesma área, uma forma menos alongada e mais circular origina caudais de ponta de cheia superiores.

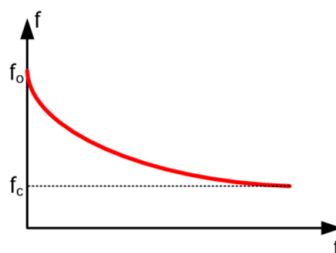
A densidade de drenagem, que relaciona o comprimento dos cursos de água com a área da bacia hidrográfica, também demonstra a tendência para ocorrência de cheias numa bacia hidrográfica, verificando-se que numa bacia hidrográfica com elevada densidade de drenagem o escoamento superficial ocorre mais rapidamente do que em bacias hidrográficas mal drenadas onde o escoamento é maioritariamente subsuperficial e subterrâneo, processando-se de forma mais lenta (Hipólito & Vaz, 2011).

Também é importante considerar o declive da bacia hidrográfica, sabendo que quanto maior o declive, menor o tempo de resposta, pois as velocidades do escoamento superficial serão maiores. O declive afecta, ainda, a capacidade de infiltração de água no solo de forma inversa, pois maiores declives originam menores taxas de infiltração. Também é relevante notar que um terreno com maiores declives está mais sujeito a erosão, levando a um aumento de transporte de sedimentos para o rio (Hipólito & Vaz, 2011).

Para diminuir o escoamento superficial é essencial ter uma boa capacidade de infiltração, estando esta directamente relacionada com a água no solo, nomeadamente a humidade inicial, a saturação e a permeabilidade do solo (Hipólito & Vaz, 2011; Varennes, 2003).

Quanto maior o teor de humidade inicial no solo, menor a infiltração e, da mesma forma, quanto mais seco o solo estiver, maior a infiltração. Da mesma forma, quanto mais saturado o solo estiver, menor infiltração pode ocorrer, pois este não tem capacidade de absorver mais água, uma vez que os poros normalmente vazios estão preenchidos por água. Como consequência, em vez de se infiltrar para o subsolo, a água vai escoar à superfície (Varennes, 2003). É o que acontece no caso de eventos em que a precipitação intensa ocorre após uma série de eventos pluviosos que contribuíram para o preenchimento dos vazios do solo.

Por sua vez, a permeabilidade do solo afecta directamente a capacidade de infiltração, sendo que, num solo não saturado, tanto maior é a infiltração quanto maior a permeabilidade do solo. Esta propriedade depende da textura e estrutura do solo, sendo tanto mais elevada quanto maior o teor arenoso do solo (Varennes, 2003). Contudo, mesmo em solos permeáveis pode ocorrer escoamento superficial, pois se a quantidade de água precipitada for tal que exceda a capacidade de saturação do solo este perde a capacidade de infiltração e a água precipitada será escoada. Naturalmente a capacidade de infiltração não é constante ao longo de um evento pluviométrico, podendo ser representada pela seguinte curva:



**Figura 2.1 Curva de capacidade de infiltração ao longo do tempo, do modelo de Horton. ( $f_0$  - capacidade de infiltração inicial,  $f_c$  - capacidade de infiltração final)**

Quando se estuda a resposta de uma bacia hidrográfica à ocorrência de precipitações, é, ainda, imperativo considerar o uso de solo da mesma, pois este vai ter influência directa na forma como a bacia hidrográfica se vai comportar. Se a bacia hidrográfica tiver uma cobertura vegetal, parte da precipitação é interceptada e fica aderente à folhagem e aos caules, de onde se evapora, não contribuindo para o escoamento. A cobertura vegetal promove, em regra, a infiltração contribuindo também, desta forma, para atenuar o escoamento superficial. A vegetação tem, ainda, a capacidade de diminuir a erosão, ao promover a agregação das partículas do solo. Assim, bacias hidrográficas com ocupação do tipo florestal e de mata resultam, à partida, em menores volumes e velocidades de escoamento superficial (Hipólito & Vaz, 2011; Varennes, 2003).

De forma diferente se comportam as bacias hidrográficas em que o solo foi, de alguma forma, impermeabilizado. Esta impermeabilização resulta, na maioria dos casos, da acção humana, através da construção de áreas urbanas, parques industriais, estradas, vias ferroviárias, aeroportos, entre outros equipamentos, e tem efeito directo na infiltração, que diminui, e, conseqüentemente, no escoamento superficial, que vai aumentar. Na secção 2 do presente capítulo analisa-se melhor a influência da urbanização no comportamento das cheias numa bacia hidrográfica.

## 2.2 Urbanização

Nas últimas décadas, tem-se observado um fenómeno a nível mundial de urbanização. Isto é, tem se verificado uma migração da população residente em áreas rurais para centros urbanos. De acordo com (Nações Unidas, 2012), em 1950, na Europa 51,3% da população residia em áreas urbanas e em 1970 este valor tinha aumentado para 62,8%. Este número continuou a crescer e, em 2011 atingiu 72,9%. Prevê-se, ainda, que este valor continue a crescer e que em 2030 atinja 77,4% e em 2050 82,2%.

Também Portugal tem sentido este fenómeno. No pós 2ª guerra mundial este processo intensificou-se, com especial força em Lisboa e Porto, tendo, desde então, sido acompanhado da expansão das cidades e desenvolvimento dos subúrbios, bem como de uma difusão do modo de vida urbano para fora das cidades (Costa, 1993).



Muitos impactes ambientais têm sido associados a este fenómeno, como por exemplo a fragmentação do habitat de várias espécies locais e o aumento da poluição.

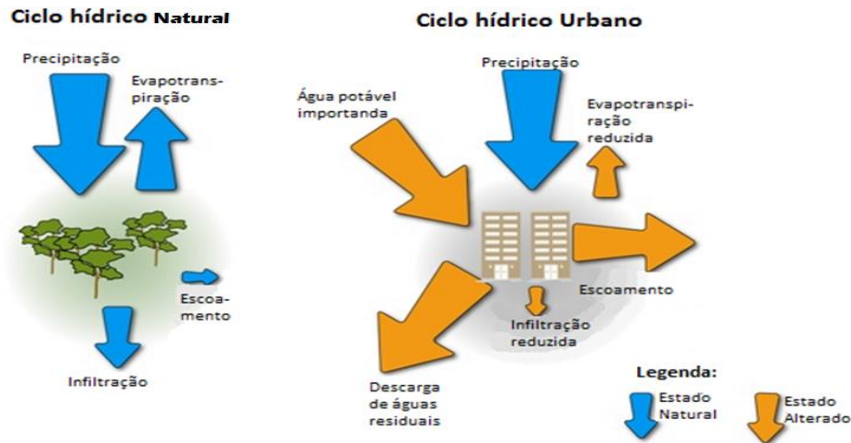
Também a nível do sistema hidrológico são observadas alterações. (Leopold, 1968) notou a existência de quatro efeitos, inter-relacionados mas separáveis, na hidrologia de uma área devido às alterações de uso do solo provocadas pela urbanização: alteração nas características do pico de cheias, alterações no escoamento total, alterações na qualidade da água e alterações na amenidade hidrológica, isto é nas sensações e impressões despertadas no observador.

Nem sempre realizado de forma organizada e orientada, e sendo muitas vezes desenvolvido em áreas de risco e sem infra-estruturas de apoio, o processo de urbanização aumenta o risco de desastre em caso de cheias. Para o efeito deste trabalho vai-se considerar o risco de cheia como a combinação entre a probabilidade de ocorrência da cheia e os prejuízos provocados à ocorrência da cheia, que podem ser expressos em unidades monetárias, perdas de vidas humanas ou outras unidades. Assim, este risco é maior se a densidade populacional destas regiões é muito elevada, o que determina que os danos associados à ocorrência da cheia sejam também elevados. Outro tipo de danos pode estar associado à afectação de equipamentos como centrais eléctricas, sistemas de distribuição de água, etc. Os riscos de cheia podem ser determinados por danos ecológicos, resultantes, por exemplo, da inundação de instalações de armazenamento de substâncias perigosas.

### **2.2.1 A urbanização e o ciclo hidrológico**

O ciclo hidrológico, também denominado de ciclo da água, é um modelo que representa o armazenamento e transporte de água entre a atmosfera, biosfera, litosfera e hidrosfera. A água pode ser armazenada na atmosfera, nos oceanos, rios, lagos, glaciares, solos e aquíferos e o transporte entre estes reservatórios é feito por evapotranspiração, condensação, precipitação, infiltração, percolação e escoamento.

Apesar dos elementos principais do ciclo se manterem, com as modificações que vão ocorrer devido à urbanização, estas vão sofrer alterações e novas componentes vão aparecer, tornando o ciclo hidrológico urbano mais complexo.

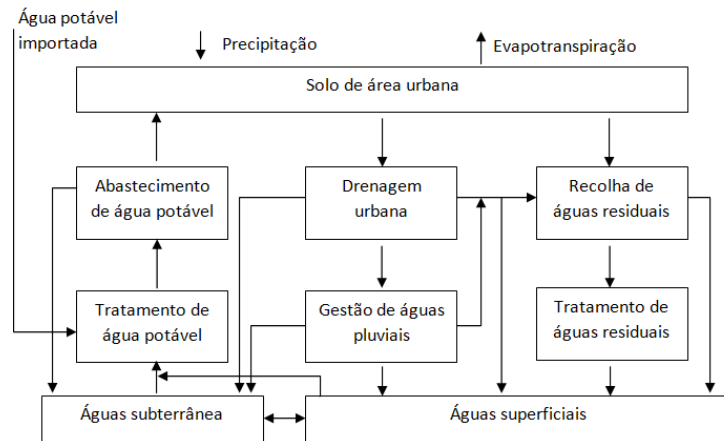


**Figura 2.2** Ciclo hidrológico natural e urbano. Adaptado: (Healthy Waterways, 2011)

Na figura 2.2, em que se representam de forma esquemática os processos fundamentais do ciclo hidrológico, podem-se observar as principais alterações que ocorrem no ciclo.

Uma das alterações mais visíveis é o aparecimento de novas componentes no ciclo. Estas aparecem para colmatar algumas das necessidades básicas da população, como o abastecimento de água e recolha de águas residuais. A outra grande diferença é visível na intensidade dos fluxos de transporte. Com a criação de áreas urbanas há um inevitável aumento da impermeabilização dos solos acompanhada da remoção, total ou parcial, do coberto vegetal, bem como aplanamento e compactação dos solos. São, ainda, instaladas canalizações para o transporte de água, que, embora possam regularizar o escoamento da água precipitada, vão aumentar as velocidades de escoamento e, ao mesmo tempo, diminuir os tempos de concentração de cheias. Estas transformações vão provocar alterações nos fluxos de água do ciclo hidrológico urbano, relativamente às condições que se verificariam no ciclo hidrológico natural, sendo as principais diferenças: a diminuição de interceptação de água pelas plantas e da evapotranspiração e diminuição da infiltração, do escoamento subsuperficial, do armazenamento de água no solo e da recarga dos aquíferos. Em resultado, vai verificar-se um aumento do escoamento superficial que compensa as diminuições dos restantes fluxos referidas.

Na Figura 2.3 apresenta-se um esquema mais completo do ciclo urbano da água, com os seus vários processos e ligações.



**Figura 2.3 Ciclo da água urbano: Principais componentes e relações. Adaptado: (UNESCO, 2006)**

Para uma certa área, durante um determinado intervalo de tempo, e tendo em conta que o movimento da água num sistema ocorre de acordo com o princípio da conservação da massa, isto é, o volume de água que entra é igual ao que sai mais o volume que fica armazenado no sistema, pode-se fazer um balanço ao sistema hídrico.

De um modo geral, o balanço hídrico pode ser descrito pela equação (Oliveira, 2011):

$$P = H + E + \Delta S_p + \Delta S_u + \Delta S + E_x - R \quad 2.1$$

Onde:

- $P$  - Precipitação sobre a bacia hidrográfica;
- $H$  - Escoamento na secção de referência;
- $E$  - Evapotranspiração na bacia hidrográfica;
- $\Delta S_p$  - Variação da retenção e detenção superficiais;
- $\Delta S_u$  - Variação das reservas de água subterrânea;
- $\Delta S$  - Variação da quantidade de água armazenada no solo;
- $E_x$  - Quantidade de água extraída pelas actividades humanas;
- $R$  - Quantidade de água lançada na bacia hidrográfica pelas actividades humanas.

Se se pretender quantificar o escoamento na secção de referência, o balanço pode ser reescrito da seguinte forma:

$$H = P - E - \Delta S_p - \Delta S_u - \Delta S - E_x + R \quad 2.2$$

Para o estudo de cheias, e tendo em conta o curto intervalo de tempo que normalmente lhes é associado, pode-se simplificar a equação, desprezando as contribuições para o balanço hidrológico das parcelas  $E, \Delta S_u$  e  $(E_x + R)$ . Assim, o balanço hidrológico pode ser representado por:

$$H = P - \Delta S_p - \Delta S \quad 2.3$$

### 2.2.2 Impermeabilização dos solos e o risco de cheias

A permeabilidade do solo é uma propriedade que está directamente relacionada com a infiltração, isto é com o processo de entrada de água no solo através superfície de contacto do terreno com a atmosfera. Assim, como referido anteriormente, um solo mais permeável tem uma maior capacidade de infiltração de água do que um solo menos permeável.

Uma superfície impermeável pode ser definida como uma superfície revestida por qualquer material que impeça a infiltração de água no solo. Entre esses materiais referem-se, entre outros, pavimentos em betão betuminoso ou em betão de cimento, coberturas de telha, ou solos compactados, ou seja materiais comuns em áreas urbanas. Os efeitos desta impermeabilização, nomeadamente o aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial e a diminuição da infiltração, são conhecidos há muito tempo pelos peritos nos domínios da hidrologia e da urbanização.

O grau de urbanização a partir do qual se começam a observar alterações na hidrologia local varia muito entre autores, não parecendo haver consenso sobre qual o seu valor mínimo. (Yang et al., 2010) sugeriram que a partir de 3%-5% de impermeabilização se observam efeitos da urbanização estatisticamente relevantes. (Jackson, 1997) por sua vez considera que para se verificarem efeitos significativos o nível de impermeabilização deve ser de pelo menos 10 %. Para outros autores este valor é ainda maior, como é o caso de (Brun & Band, 2000) que indicou como 20% o valor mínimo de impermeabilização para que se observem impactes.

Segundo (Jacobson, 2011), parte do problema prende-se com o facto dos estudos não considerarem, geralmente, a localização das áreas impermeabilizadas, ignorando a proximidade da linha de água principal e a sua conectividade com as restantes áreas, apesar da existência de estudos que comprovam a importância destes factores.

Estas discrepâncias observadas podem estar, também, relacionadas com a diferença entre a área impermeável total (AIT) e a área impermeável efectiva (AIE), isto é a diferença entre toda a área impermeável na bacia hidrográfica e a área impermeável da bacia hidrográfica que está directamente ligada a um leito ou canal onde se processa o escoamento. Esta diferença é designada área impermeável inefetiva (AII) e corresponde às superfícies que escoam para áreas permeáveis.

$$AIT = AIE + AII$$

**2.4**

Não existe unanimidade entre os especialistas sobre a relação entre a AIT e a AIE, tendo-se observado diferentes relações em diversos estudos, possivelmente devido às diferentes características das bacias hidrográficas em estudo, como seja diferentes tipos de cobertura do solo (Jacobson, 2011).

De forma geral, a relação a AIT e AIE pode-se ser representada por:

$$AIE = A(AIT)^B \quad 2.5$$

Onde A e B são parâmetros que devem satisfazer os seguintes critérios:

- AIE=0%, se AIT = 1
- AIE=100%, se AIT=100

Em 1983, Alley e Veenhuis derivaram uma fórmula empírica, através do estudo de 14 bacias hidrográficas em Denver, Colorado, comumente mencionada na bibliografia (Alley & Veenhuis, 1983):

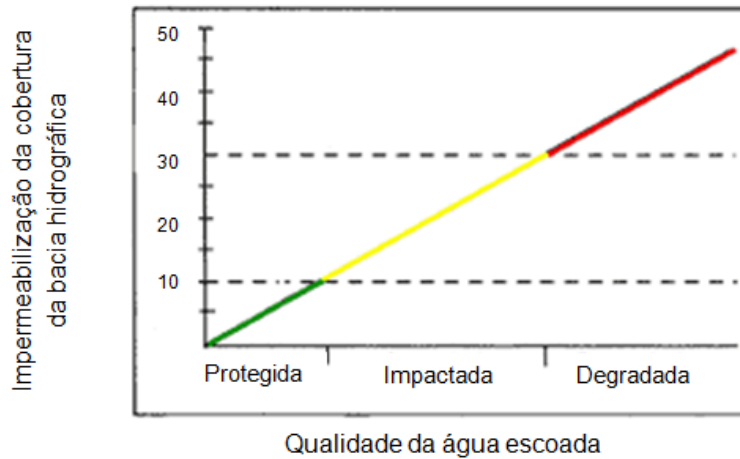
$$AIE = 0.15(AIT)^{1.41} \quad 2.6$$

Também a United States Geological Survey (USGS) apresentou um conjunto de relações empíricas, de acordo com diferentes características da bacia hidrográfica, válidas para  $AIT \geq 1$ , conhecidas como Equações Sutherland, que têm em consideração o grau de conectividade entre as áreas impermeáveis da bacia (Sutherland, 1995; Holman-Dodds, 2006):

- Bacias com conectividade média:  $AIE = 0.1(AIT)^{1.5}$  **2.7**
- Bacias com conectividade elevada:  $AIE = 0.4(AIT)^{1.2}$  **2.8**
- Bacias totalmente conectadas:  $AIE = AIT$  **2.9**
- Bacias parcialmente desconectadas:  $AIE = 0.04(AIT)^{1.7}$  **2.10**
- Bacias extremamente desconectadas:  $AIE = 0.01(AIT)^{2.0}$  **2.11**

Além da utilização de métodos empíricos, a AIE pode ser directamente medida no terreno ou estimada por modelos matemáticos.

Apesar de não se enquadrar no âmbito deste estudo, é, ainda, relevante considerar que a impermeabilização dos solos também está fortemente relacionada com a qualidade de água escoada. Embora não contribua directamente para a degradação da qualidade da água, a impermeabilização do terreno está associada a outros factores que o fazem, nomeadamente: a) alterações hidrológicas que degradam os leitos e canais de transporte de água; b) usos de solo que geram poluição; c) diminuição da percolação e consequente eliminação ou redução da massa de substâncias poluentes pelo solo; d) transporte de substâncias poluentes para as massas de água (Arnold & Gibbons, 1996). A lavagem periódica de pavimentos é um processo eficaz de remoção de poluentes, evitando ou reduzindo as cargas de poluição associadas ao início do escoamento superficial nos eventos de cheias.



**Figura 2.4** Relação entre a impermeabilização do solo e a qualidade da água. Adaptado: (European Environment Agency, 2012)

A Figura 2.4 apresenta a relação entre a impermeabilização do terreno da bacia hidrográfica e a qualidade da água. As linhas horizontais a 10% e 30% marcam os patamares onde se considera que há alterações significativas da qualidade de água, e criam três categorias de qualidade: protegida, impactada e degradada. Novamente, há várias opiniões em relação a estes valores, havendo diferenças significativas entre os vários autores. Em particular, a degradação da qualidade da água depende da quantidade de substâncias poluentes que se acumulam nas superfícies impermeáveis entre eventos de precipitação. As boas práticas recomendam a lavagem periódica dos pavimentos para remover as substâncias poluentes que se acumularam nos pavimentos desde o último evento de precipitação ou desde a última lavagem.

### 2.2.3 Hidrograma de cheias

O escoamento que se verifica numa cheia, numa dada secção da rede de drenagem da bacia hidrográfica, não tem origem apenas no fenómeno de precipitação que ocorreu na bacia hidrográfica dessa secção imediatamente antes e durante a cheia. Assim, na análise do hidrograma de cheia é possível distinguir dois tipos de escoamento: escoamento directo ou superficial, que resulta efectivamente do escoamento superficial da água precipitada na bacia hidrográfica, e o escoamento de base ou subterrâneo, resultante de água que, ao infiltrar-se no solo, se escoia subterraneamente e acaba por no seu percurso aflorar à superfície, constituindo, portanto, a descarga das águas subterrâneas para a bacia hidrográfica (Portela, 2006).

Também se pode considerar a existência de um escoamento intermédio, conhecido por escoamento subsuperficial ou hipodérmico, que corresponde à água que se infiltra no solo, mas não atingido a zona saturada, de armazenamento subterrâneo, volta a surgir à superfície do terreno.

A relação entre os escoamentos pode ser representada por um hidrograma:

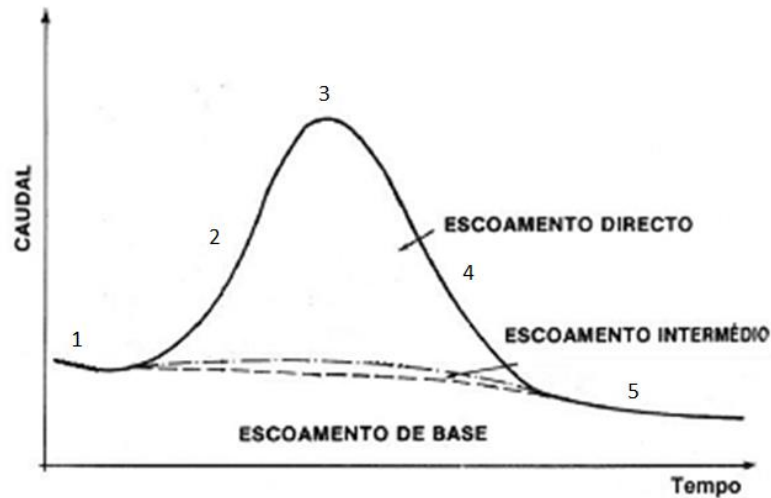


Figura 2.5 Representação esquemática do hidrograma de cheias.

No hidrograma podem-se observar cinco fases:

1. Curva de esgotamento ou recessão, que corresponde à diminuição do escoamento de base;
2. Curva de crescimento, que corresponde ao crescimento do escoamento que ocorre devido à chuvada;
3. Ponta do hidrograma, que corresponde ao valor máximo de escoamento;
4. Curva decrescente, que corresponde ao decrescimento do escoamento directo até que finde;
5. Curva de esgotamento ou recessão.

Como se pode observar no hidrograma de cheia, num acontecimento pluviométrico ocorre algum tempo entre o início da precipitação e o aumento do escoamento na rede de drenagem da bacia hidrográfica. Este intervalo de tempo entre o início da precipitação e o aumento do escoamento na rede de drenagem é motivado, entre outros factores, pelo défice de humidade em condições de saturação, que precisa de ser colmatado (Linsley et al., 1985).

### 2.2.3.1 Modelo do hidrograma unitário

O hidrograma unitário com duração D (HUD) é o hidrograma do escoamento directo gerado por precipitação efectiva, isto é que efectivamente contribui para o escoamento, considerada unitária (1mm, 1cm ou 1 polegada), com intensidade constante no tempo e de forma aproximadamente uniforme em toda a bacia hidrográfica, com duração D (Linsley et al., 1985; Portela, 2006).

A utilização do Hidrograma Unitário considera dois princípios fundamentais (Quintela, 1996):

1. **Princípio da proporcionalidade:** “O hidrograma do escoamento directo provocado numa dada secção de um curso de água por uma precipitação efectiva de n unidades, de

intensidade constante no tempo e uniforme sobre a bacia hidrográfica e com duração  $D$ , obtém-se multiplicando por  $n$  as ordenadas do respectivo HUD.”

2. **Princípio da sobreposição:** “O hidrograma do escoamento directo provocado numa secção de um curso de água pela sucessão de vários acontecimentos de precipitação efectiva, cada um com a mesma duração  $D$  e com intensidade constante e uniforme sobre a bacia hidrográfica, obtém-se pela sobreposição, com o devido desfaseamento no tempo, dos hidrogramas que resultam, pelo princípio da proporcionalidade do HUD, daqueles sucessivos acontecimentos.”

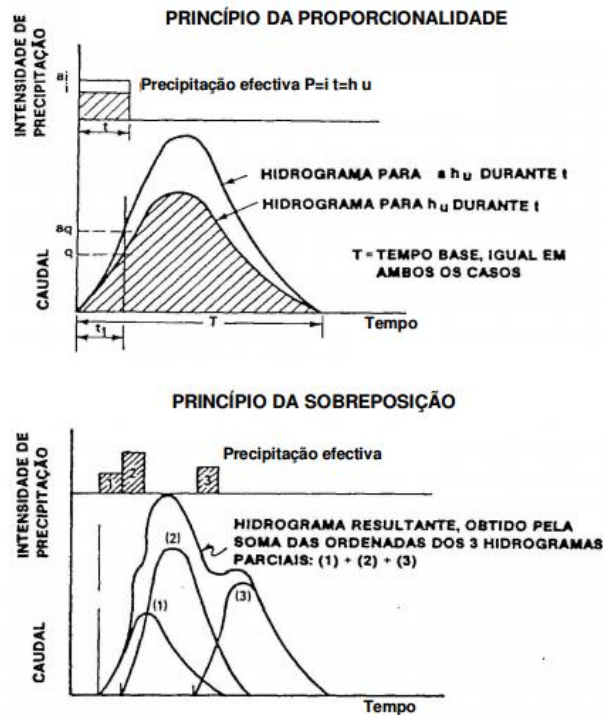


Figura 2.6 Representação dos princípios do hidrograma unitário. Fonte: (Lencastre & Franco, 1992)

Os dois princípios referidos resultam da verificação da hipótese de que a bacia se comporta como um sistema linear e invariante no tempo. Ser um sistema linear significa que um aumento de um dado estímulo imposto ao sistema tem uma resposta positiva proporcional ao valor do estímulo, o que implica a sobreposição das respostas do sistema a sucessivos estímulos. A invariância temporal significa que a resposta do sistema ao mesmo estímulo é sempre igual, independentemente do instante ou do intervalo de tempo em que o estímulo ocorre.

Este modelo tem aplicabilidade em áreas compreendidas num grande intervalo, sendo, contudo, a tendência actual a sua aplicação em bacias hidrográficas com áreas entre 2,5 e 250 km<sup>2</sup> (Portela, 2006).

O hidrograma unitário pode ser obtido por métodos directos ou indirectos. Os métodos directos exigem o registo dos hidrogramas de cheia e dos hietogramas de precipitação que o originaram. Por



sua vez, os métodos indirectos, ou sintéticos, não utilizam dados hidrométricos, mas sim as características fisiográficas da bacia em estudo. Entre estes últimos destacam-se o Hidrograma Unitário Sintético de Clark e o Hidrograma Unitário Sintético do SCS (*Soil Conservation Service*), utilizados frequentemente em estudos semelhantes.

### 2.2.3.2 Hidrograma Unitário Sintético SCS

O Hidrograma Unitário Sintético do *Soil Conservation Service* (HUS SCS) é um hidrograma sintético unitário curvilíneo adimensional, que representa a relação entre a fracção do caudal e o caudal de ponta ( $q/q_p$ ), no eixo das ordenadas, e a fracção entre os instantes e o instante de ocorrência do caudal de ponta ( $t/t_p$ ).

Este hidrograma considera que 37,5% do volume da cheia ocorre até ao instante do caudal de ponta ( $t_p$ ) e que o tempo de base do hidrograma de cheia ( $t_b$ ) é aproximadamente igual a cinco vezes o tempo de crescimento da cheia, ou seja, do intervalo de tempo entre o início do hidrograma de cheia e o instante do caudal de ponta de cheia.

O instante de ocorrência do caudal de ponta do hidrograma unitário do SCS,  $t_p$ , pode ser obtido pela relação:

$$t_p = \frac{D}{2} + t_{lag} \quad 2.12$$

Onde:

- $D$  - Discretização temporal do hietograma de precipitação;
- $t_{lag}$  - Tempo de lag, ou tempo de atraso.

O tempo de atraso pode ser definido como o intervalo de tempo que decorre entre o centro de gravidade do hietograma de precipitação útil e o instante de ocorrência do caudal de ponta, e de acordo com estudos do SCS pode ser considerado como 60% do tempo de concentração da bacia hidrográfica, isto é:

$$t_{lag} \cong 0,6t_c \quad 2.13$$

O caudal de ponta do HUD SCS pode ser definido como:

$$q_p = \frac{0,2083 A}{t_p} \quad 2.14$$

Onde:

- $q_p$  - Caudal de ponta ( $m^3/s$ );
- $A$  - Área da bacia hidrográfica ( $km^2$ );
- $t_p$  - Tempo de ponta (h).

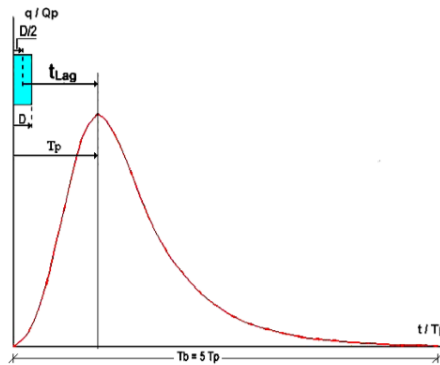


Figura 2.7 Hidrograma unitário sintético do SCS.

### 2.2.3.3 Efeitos da urbanização no Hidrograma

Como referido anteriormente, a urbanização vai ter como principal impacte a diminuição da permeabilidade do solo e, conseqüentemente, da infiltração.

Estes efeitos podem ser observados na comparação dos hidrogramas de cheia antes e após a urbanização:

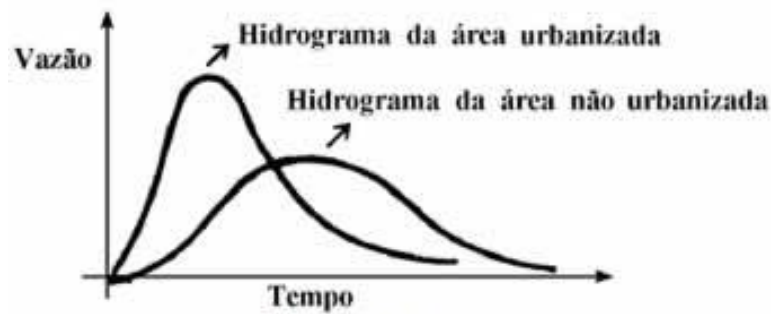


Figura 2.8 Esquema do hidrograma de cheias antes e após a urbanização. Fonte: (Colégio São Francisco)

Na figura 2.8 podem-se identificar as principais diferenças entre os hidrogramas. Assim, para uma bacia hidrográfica com uma área urbanizada, relativamente à mesma bacia hidrográfica antes de ser constituída essa área urbanizada, o caudal de ponta de cheia é maior e o intervalo de tempo entre o início do escoamento directo e o instante em que ocorre o caudal de ponta de cheia é menor.

## 2.3 Métodos de minimização dos efeitos de cheias

Devido aos elevados danos provocados pelas cheias, não só materiais e económicas, mas principalmente humanas, torna-se imperativo implementar um plano de gestão de risco de cheias em áreas com potencial para estes acontecimentos.

Na gestão de riscos de cheias há duas estratégias que se podem considerar: reduzir a intensidade das cheias, isto é diminuir os caudais de ponta de cheia e aumentar o tempo de concentração. A redução dos caudais de ponta de cheia conduz, em geral, à redução dos danos provocados pela cheia, seja pela diminuição da área sujeita a inundação seja pela diminuição das alturas de cheia nas áreas inundadas. O aumento do tempo de concentração permite aumentar o tempo necessário para a evacuação de pessoas e bens das áreas inundadas (Green et al. 2000).

Segundo (Comissão das Comunidades Europeias, 2004), a gestão do risco de cheias pode ser vista como um ciclo sistemático que inclui os elementos: prevenção, protecção, preparação, resposta de emergência e recuperação e experiência adquirida.

### 2.3.1 Prevenção

Um dos elementos do ciclo de gestão do risco de cheias, pode ser descrito como a "prevenção dos prejuízos causados pelas inundações, evitando para tal a construção de habitações e indústrias em áreas com tendência para inundarem, tanto presente como futuramente, adoptando iniciativas futuras aos riscos de inundação e promovendo práticas de uso dos solo e práticas agrícolas e florestas adequadas"(Comissão das Comunidades Europeias, 2004).

O que se pretende neste passo é reduzir o grau de exposição social e económica ao risco de cheia. Para tal, dá-se primazia às medidas não estruturais promovendo: a) (re)direccionamento da actividade económica e urbanística para fora das áreas potencialmente inundáveis; b) iniciativas de devolução dos leitos de cheia ao rio, aproveitando para potenciar o reequilíbrio ecológico ou/e dar outro tipo de usos sociais a estas áreas; c) (re)adequação dos edifícios em áreas inundáveis, à natureza do risco de cheia.

A implementação destas medidas implica o investimento em políticas de planeamento do território estruturadas para regular os usos de solo e a ocupação das zonas urbanizáveis e do edificado em áreas de risco. Esta regulação da ocupação do território baseia-se substancialmente na implementação de regras que proíbam ou condicionem a construção de infra-estruturas em áreas inundáveis. Em conjunto com estas limitações, devem ser criados programas de apoio e estímulo ao desenvolvimento urbano em áreas não inundáveis e à transferência de estruturas e pessoas para áreas onde o risco de cheias não esteja presente. De notar que estas áreas de risco podem ser

utilizadas sem expor a população a riscos desnecessários e sem interromper a circulação natural da água, por exemplo para parques e jardins públicos (Silva, 2003).

Em Portugal, de acordo com as bases da política de ordenamento do território e de urbanismo, desenvolvidas pelo Decreto-Lei nº380/99 de 22 de Setembro e mais tarde adaptadas pelo Decreto-Lei nº316/2007, de 19 de Setembro, e Decreto-Lei nº46º/2009, de 20 de Fevereiro, o sistema de gestão territorial assenta em três âmbitos: o âmbito nacional, o âmbito regional e o âmbito municipal. No âmbito nacional incluem-se dois instrumentos: o programa nacional da política de ordenamento do território (PNPOT), os planos sectoriais com incidência territorial e os planos especiais de ordenamento do território (PEOT), destacando-se no âmbito deste trabalho os PEOT, que estabelecem regimes de salvaguarda de recursos e valores naturais e direcções de gestão compatíveis com a utilização sustentável do território. Nos PEOT estão inseridos o Plano de Ordenamento da Orla Costeira (POOC), o Plano de Ordenamento de Áreas Protegidas (POAP), o Plano de Ordenamento de Albufeiras de Águas Públicas (POAAP) e o Plano de Ordenamento dos Estuários (POE), que visam gerir e salvaguardar o território e os recursos nas respectivas áreas de actuação (Condessa, 2012).

O âmbito regional inclui os planos regionais de ordenamento do território (PROT) e o âmbito municipal engloba: Os planos intermunicipais de ordenamento do território (PIOT) e os planos municipais de ordenamento do território (PMOT).

Os PMOT são compostos por três elementos: Plano Director Municipal (PDM), onde são estabelecidas estratégias de desenvolvimento territorial e as políticas municipais de ordenamento do território e urbanismo, bem como o modelo de organização espacial do território municipal, Plano de Urbanização (PU), que concretiza a política de ordenamento do território e de urbanismo, definindo a estrutura urbana, o regime de uso do solo e os critérios de transformação do território e Plano de Pormenor (PP), que define com detalhe a ocupação de qualquer área específica do território municipal.

Na realização destes planos deve ser considerado o Plano Nacional da Água (PNA) que define a estratégia nacional para a gestão integrada da água, estabelecendo as directrizes da política nacional da água e os princípios e regras de orientação dessa política a aplicar nos Planos de Gestão de Bacias Hidrográficas (PGBH) e outros instrumentos de planeamento das águas (APA, Plano Nacional da Água), sendo que os PGBH têm como principal objectivo a gestão e protecção das águas.

De forma mais particular, existe a classificação de terrenos conexos com massas de águas, isto é os leitos e margens, como *zona adjacente*. Esta classificação criada em 1971, prevê "restrições de utilidade pública de terrenos situados para além das margens, mas em posição tal que tenham de ser considerados como terrenos ameaçados pelo mar ou como terrenos ameaçados pelas cheias" e tem como objectivo prevenir e reduzir o risco para as pessoas e bens, garantindo a regulação do ciclo hidrológico e promovendo as boas condições de infiltração e retenção de água nas zonas consideradas. Apesar de criado em 1971, apenas em 1983 esta classificação foi utilizada, no

caso para a Ribeira da pelo Laje Decreto Regulamentar n.º 45/86 de 26 de Setembro. Mais tarde foram, também, classificadas como *zonas adjacentes* troços do rio Tâmega, em Chaves, do rio Zêzere, Ribeiras do Jamor, Colares e Vinhas (Silva, 2003).

### 2.3.2 Protecção

Segundo (Comissão das Comunidades Europeias, 2004), a protecção contra o risco de cheias pode ser definida como a "tomada de medidas, tanto estruturais como não estruturais, para reduzir a probabilidade de cheias e/ou o impacte das cheias em determinados locais"

Tendo como principal objectivo eliminar ou minimizar a ameaça e/ou os impactes das cheias para as populações e bens existentes em áreas de risco, este elemento do sistema de gestão comporta dois tipos de medidas: estruturais e não estruturais. Desta forma, como exemplo de intervenções estruturais referem-se, entre outras, albufeiras, açudes e bacias de retenção para armazenamento temporário dos caudais de cheia, obras de rectificação dos canais naturais de escoamento e a concepção de diques marginais. As medidas não estruturais comumente aplicadas podem passar pela criação de sistemas de seguro contra o risco de cheia para populações sediadas em áreas de risco, códigos de construção adaptada à ocorrência de inundações, concepção de sistemas de aviso e medidas de ordenamento e planeamento dos usos dos solos, como as que foram já mencionadas.

#### 2.3.2.1 Medidas estruturais

As medidas para controlo de cheias são consideradas estruturais quando são conseguidas através de obras de engenharia, através de construção e operação de infra-estruturas.

As medidas consideradas estruturais podem, ainda, ser classificadas como extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que actuam na bacia, alterando a superfície do solo e implementando medidas de protecção de erosão e promoção da infiltração. Por sua vez, as medidas intensivas actuam de forma mais directa no rio, e estão associadas a obras maiores, de armazenamento e direccionamento de caudal, como barragens e obras de drenagem (Hipólito & Vaz, 2011; NATO, 1992).

De seguida apresentam-se algumas medidas estruturais de controlo de risco de inundação:

- **Diques de defesa:**

Os diques são estruturas que têm como função proteger determinadas zonas, como centros urbanos, de inundações provocadas pela subida do nível do rio. Assim, o que estes

fazem é limitar a área de inundação, possibilitando que áreas anteriormente inundáveis fiquem salvaguardadas do rio.

- **Albufeiras:**

Uma albufeira é um reservatório artificial criado por uma barragem. A sua utilização pode ser útil em caso de cheia, pois ao amortecer os caudais de ponta de cheia, através da retenção temporária de parte do volume da cheia afluente à albufeira, o caudal máximo descarregado durante a ocorrência da cheia é inferior ao caudal afluente à albufeira, que se verificaria a jusante da barragem sem o amortecimento. Além de diminuir o caudal de ponta de cheia, as albufeiras atrasam o instante de ocorrência deste caudal de ponta de cheia devido ao armazenando temporário do volume da cheia.

- **Bacia de retenção:**

Uma bacia de retenção é uma estrutura de armazenamento criada para reter a água da chuva, estando normalmente coberto por vegetação, criando um ambiente semelhante a uma lagoa. Uma bacia de retenção tem um funcionamento semelhante a uma albufeira, permitindo reter parte do volume da cheia afluente, diminuindo e atrasando a ocorrência do caudal de ponta de cheia.

- **Canais fluviais:**

Os canais fluviais são troços artificiais ou modificados dos leitos fluviais que podem ter vários objectivos, designadamente o controlo de cheias, a navegação fluvial e o desenvolvimento de áreas urbanas ou de áreas dedicadas à agricultura. As intervenções neste canais consistem, frequentemente no aumento da capacidade de transporte através do alargamento, do aprofundamento e da rectificação do traçado. Por vezes estas obras utilizam canalização, o que pode ter efeitos indesejáveis, em particular devidos ao aumento da velocidade do escoamento dos caudais, provocando o desequilíbrio dos leitos naturais a montante e a jusante.

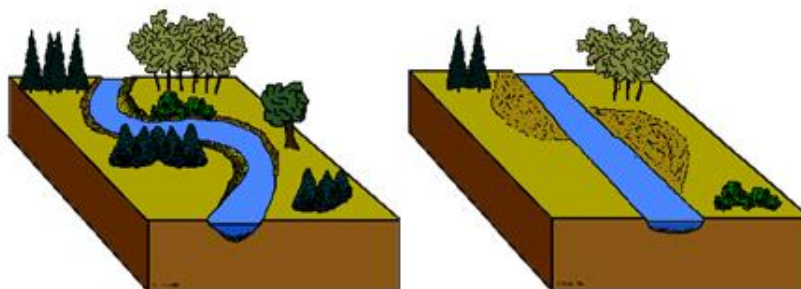


Figura 2.9 Exemplo de alteração num canal fluvial. Fonte: (Dias, 2006)

Também é importante implementar regulamentação ao nível da construção, de forma a que o edificado esteja o mais preparado possível a estas ocorrências. Se estes regulamentos não existirem, o apoio dos seguros em nada vai contribuir para a (re)construção de edifícios apropriados a cheias, sendo que a tendência será (re)construir o edificado com as mesmas características e vulnerabilidades. Para esse efeito podem-se considerar três principais técnicas de (re)adequação dos edifícios ao risco de cheias:

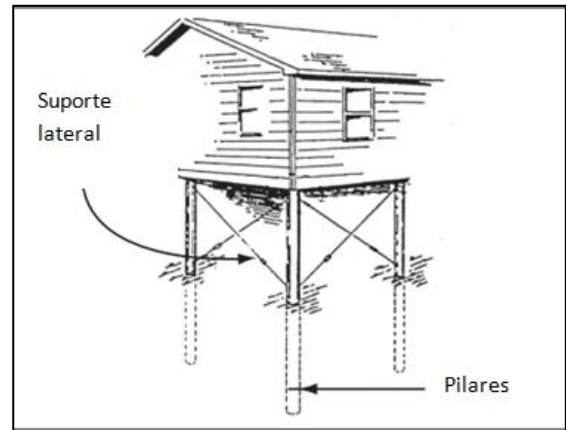
- **Elevação:**

O objectivo da elevação é que o piso inferior da habitação fique acima do nível máximo de cheia provável esperada, para determinado período de retorno. Para elevar o piso pode-se optar por elevar toda a casa, incluindo o piso inferior, ou construir um novo piso não alterando o resto do edifício.

Na escolha do método devem ser ponderados vários factores, como o tipo de construção, de fundações e condições de cheias.

A título de exemplo apresentam-se duas práticas comuns nos E.U.A: elevação sob fundações de

paredes contínuas e elevações sob fundações abertas. No primeiro caso, o edifício encontra-se assente sob fundações contínuas, que funcionam como paredes que suportam o edifício. Este método é mais aconselhado para situações onde as cheias não atinjam velocidade muito elevadas. No segundo método, utilizam-se fundações que funcionam como pilares onde se assenta o edifício. Este método é mais utilizado para locais onde as velocidades dos caudais de cheia são superiores.

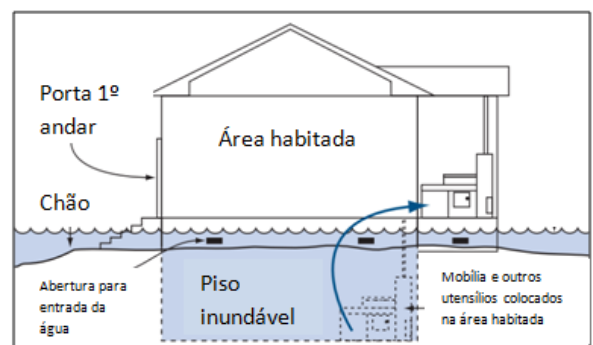


**Figura 2.10 Edifício elevado por pilares. Adaptado: (Federal Emergency Management Agency 2009)**

- **Wetfloodproofing:**

Este método consiste na alteração de áreas do edifício não "habitáveis", que ao serem inundadas não vão causar danos significativos. O objectivo deste método é conseguir que a pressão hidrostática no interior e exterior do edifício seja igualada, levando a uma redução de falhas e danos na estrutura.

Como este método implica a entrada de água no edifício, a sua implementação tem de ser acompanhada da utilização de materiais resistentes a cheias nas áreas inundáveis. Este método não é aconselhável para territórios vulneráveis a cheias rápidas.

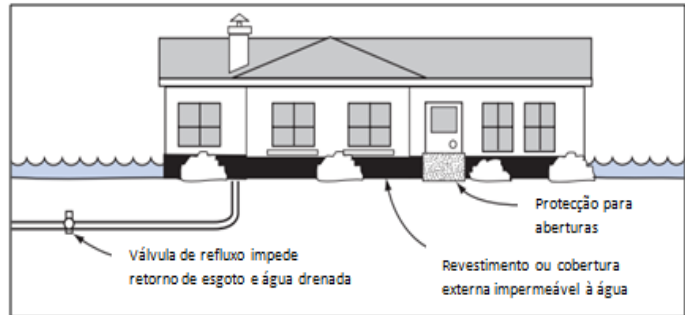


**Figura 2.11 Exemplo de Wetfloodproofing. Adaptado: (Federal Emergency Management Agency 2009)**

- **Dryfloodprofing**

Contrariamente ao método anterior, neste caso pretende-se transformar o edifício de forma a que não seja possível a entrada de água.

Para isso, é necessário utilizar um conjunto de técnicas, como revestimento das paredes com membranas e colocação de barreiras nas portas e janelas. Também implica a instalação de válvulas na rede de esgotos, que impeçam inundações por retorno de águas residuais. Para que este tipo de medidas sejam eficazes, devem ser utilizadas para locais onde as cheias não tenham uma duração e velocidade muito elevadas.



**Figura 2.12**Exemplos de protecções ao exterior da habitação. Adaptado: (Federal Emergency Management Agency 2009)

### 2.3.2.2 Medidas não estruturais

Como já referido, as medidas ditas não estruturais são aquelas que promovem acções do tipo institucional, social e regulamentar. Uma medida não estrutural muito utilizada é a criação de sistemas de seguro contra o risco de cheias, que apesar de eficaz na minimização dos danos causados por episódios de cheias é uma medida que não contribui directamente para a resolução do problema. Na verdade, estudos demonstram que a criação de seguros e outras medidas de apoio à reconstrução no pós-desastre tendem a criar uma sensação de apoio e segurança na população, que pode contribuir para uma menor disposição da mesma para adoptarem outras soluções. Assim, a implementação de seguros não deve ser realizada de forma isolada, devendo sim fazer parte de um programa mais vasto de mitigação do risco de cheias que, além de propostas para minimizar os danos, também apresente medidas concebidas para diminuir o risco de ocorrências de cheias (Silva, 2003; Penning-Rowsell & Fordham, 1994).

Outra medida a considerar na diminuição do impacte é a criação de um sistema de aviso, que consiga prever com alguma antecedência a possibilidade da ocorrência de cheias e os seus efeitos, de forma a facilitar a tomada de decisões e o accionamento de planos em caso de ocorrência de cheias. Contudo, é preciso considerar que estes sistemas têm associadas falhas, sendo que os métodos e tecnologias disponíveis nem sempre têm a capacidade de prever com suficiente grau de antecipação e precisão a ameaça de cheias. Outro problema é que, embora possa ser eficaz na redução do impacte do desastre, esta medida tem um efeito limitado na diminuição da exposição de bens, infra-estruturas e populações ao risco. Esta medida pode se especialmente ineficaz em casos de cheias rápidas, devido ao seu carácter de imprevisibilidade.



### 2.3.3 Preparação

A preparação inserida na gestão de riscos de cheias pode ser definida como a "informação da população sobre os riscos de inundação e sobre o modo de agir quando as inundações ocorrem" (Comissão das Comunidades Europeias, 2004). Por outras palavras, com este elemento pretende-se dotar a população de conhecimento e consciência dos riscos existentes, bem como da forma correcta de agir em caso de alarme e de inundações. Além disso a eficácia das medidas de protecção aplicadas pode depender da percepção e participação da população na sua implementação.

Em 1992 foi realizado um estudo na região de Setúbal, que pretendia entender a percepção do público em relação às cheias. A população foi dividida de acordo com a sua experiência com anteriores eventos de cheias e com a sua ligação à área de estudo. Após uma fase de entrevistas à amostra da população, que incluía a resposta a perguntas relacionadas com a noção de causas e medidas de mitigação de riscos de cheias, entre outras, os autores do estudo verificaram que a maioria dos inquiridos era capaz de identificar causas para o problema, bem como medidas a adoptar, no entanto, aqueles que nunca tinham experimentado uma situação de cheia tiveram alguma dificuldade em responder às perguntas feitas e mostraram uma atitude mais positiva em relação a futuras ocorrências de cheias que os restantes entrevistados (Penning-Rowse & Fordham, 1994).

Na verdade, sendo um fenómeno recorrente, entre as ocorrências, as pessoas tendem a esquecer-se e a minimizar os impactes das cheias, que não são, normalmente um fenómeno recorrente, em especial aquelas de maior intensidade e, conseqüentemente, com maiores impactes.

Desta forma, para uma gestão integrada e sustentável, torna-se necessário apostar na informação ao público, não só em relação ao fenómeno *per se*, mas também sobre as medidas que se pretendem adoptar e da melhor forma de agir em caso de ocorrência de cheias. Idealmente, além de informado, o público deve ter um papel activo em todo o processo de gestão de cheias, incluindo na tomada de decisões, de forma a permitir um maior envolvimento e identificação com a causa.

### 2.3.4 Resposta de emergência

A criação de planos de emergência para inundações, tal como para qualquer outro tipo de catástrofe, pretende assegurar que, em caso de desastre, todos os meios e recursos necessários para apoio são accionados, de forma a restabelecer a situação normal o mais rapidamente possível.

Este plano deve especificar claramente os intervenientes em todas as acções que ocorram antes, durante e pós desastre, quais as suas responsabilidades e áreas de intervenção. Como tal, este plano deve ser construído com a colaboração de todos os agentes intervenientes, nomeadamente o governo local, as forças de segurança, os bombeiros, as autoridades de saúde, os comandos operacionais municipais e qualquer outro agente local relevante.

Devem, ainda, ser consideradas as vias de comunicação existentes, de forma a assegurar a comunicação, não só entre os vários agentes de acção em caso de emergência, mas também a comunicação para e com a população.

Em Portugal, a Lei de Bases de Protecção Civil (Lei nº27/2006, de 3 de Julho ) prevê a criação dos Planos Municipais de Emergência e Protecção Civil (PMEPC).

### 2.3.5 Recuperação e experiência adquirida

Após a ocorrência de cheias é necessário promover o regresso às condições normais o mais rapidamente possível, e a recuperação dos danos sociais e materiais, o que deverá ser considerado nos planos de emergência.

As fases de prevenção, protecção e resposta de emergência devem ser avaliadas e, em caso de falhas, refeitas, sendo que a experiência vivida e os novos conhecimentos adquiridos devem ser considerados e incluídos nesse processo.

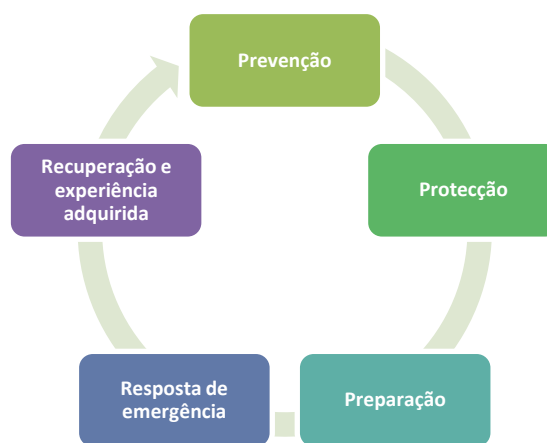


Figura 2.13 Ciclo contínuo de gestão dos riscos de cheias

### 3 Enquadramento legal da protecção de cheias na Ribeira da Laje

A 23 de Outubro de 2000, a União Europeia adoptou a Directiva Quadro da Água (Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000), até hoje o principal instrumento da política da União Europeia relativa à água, que tem como objectivo estabelecer um quadro de acção para protecção das águas dos membros da União Europeia. Os objectivos estabelecidos para esse quadro de acção são a protecção e melhoramentos dos ecossistemas aquáticos e dos ecossistemas terrestres e zonas húmidas dependentes destes, a promoção de consumo de água de forma sustentável, a redução da poluição em águas de superfície e subterrâneas e, ainda, contribuir para a mitigação dos efeitos das inundações e das secas. Esta directiva foi transposta para a legislação interna pela Lei nº58/20005, de 29 de Dezembro, designada por Lei da Água, e por legislação complementar.

Em 2004, no seguimento dos contínuos casos de cheias que ocorreram em vários locais da Europa, e tendo em conta o carácter destrutivo e catastrófico de alguns destes casos, a Comissão Europeia emitiu uma Comunicação intitulada *Gestão de riscos de inundação. Protecção contra as cheias e inundações, sua protecção e mitigação* (Comissão das Comunidades Europeias, 2004). Esta Comunicação, além de enquadrar o problema das cheias e inundações na Europa, apresentava os aspectos gerais para uma gestão dos riscos de inundações, que se encontra presente neste trabalho no capítulo 2, secção 3. Também neste documento se expressava a necessidade da criação, por parte da Comissão e dos Estados-Membros, de um programa conjunto para protecção prevenção e mitigação de cheias, que permitisse aos vários Estados-Membros maximizar os esforços individuais na resolução do problema.

#### 3.1 Directiva 2007/60/CE e Decreto-Lei nº 115/2010

Em 23 de Outubro de 2007, foi adoptada pela União Europeia, a Directiva 2007/60/CE relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações. Esta Directiva foi adoptada tendo em atenção a preocupação com as cheias e inundações já demonstrada na Directiva Quadro da Água e na Comunicação de 2004 referida, e tinha como objectivo, de acordo com o Artigo 1º, "estabelecer um quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, a fim de reduzir as consequências associadas às inundações na Comunidade prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as actividades económicas".

Em linhas gerais, esta directiva apresenta a necessidade dos Estados-Membros e da Comissão Europeia considerarem os impactes potenciais que as políticas formuladas relativas à utilização da água e do solo possam apresentar para os riscos de inundações e para a gestão desses riscos. Também nesta Directiva se expõe a necessidade de uma avaliação dos riscos de inundações

nos territórios dos vários Estados-Membros, bem como das actividades que tenham impactes negativos sobre esses riscos. Por fim, com estas avaliações devem ser elaboradas cartas de zonas inundáveis e de riscos de inundações, bem como planos de gestão de riscos de inundações, que apresentem soluções concretas e que permitam evitar e reduzir os impactes negativos das inundações em zonas de risco.

Desta Directiva podem se destacar alguns artigos que expressam medidas que devem ser adoptadas pelos vários Estados-Membros, e que demonstram a necessidade e obrigatoriedade da sua aplicabilidade no caso de estudo deste trabalho:

#### Artigo 6º:

- Nº1. "Os Estados-Membros devem elaborar, a nível da região hidrográfica ou da unidade de gestão a que se refere a alínea b) do nº 2 do artigo 3º, cartas de zonas inundáveis e cartas de riscos de inundações, na escala mais apropriada para as zonas identificadas nos termos do nº 1 do artigo 5º".
- Nº 8. "Os Estados-Membros devem assegurar que as cartas de zonas inundáveis e as cartas de riscos de inundações estejam concluídas até 22 de Dezembro de 2013".

#### Artigo 7º:

- Nº 1. "Com base nas cartas referidas no artigo 6º, os Estados-Membros devem elaborar, nos termos dos nº 2 e 3 do presente artigo, planos de gestão dos riscos de inundações coordenados a nível da região hidrográfica ou da unidade de gestão ...".
- Nº 2. "Os Estados-Membros estabelecem objectivos adequados para a gestão dos riscos de inundações para as zonas identificadas nos termos do nº 1 do artigo 5º e as zonas abrangidas pela alínea b) do nº 1 do artigo 13º, concentrando esforços na redução das potenciais consequências prejudiciais das inundações para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as actividades económicas, e, se forem consideradas adequadas, em iniciativas não estruturais e/ou na redução da probabilidade de inundações".

#### Artigo 8º:

- Nº 1. "No caso das regiões hidrográficas ou unidades de gestão a que se refere a alínea b) do nº 2 do artigo 3º inteiramente situadas no seu território, os Estados-Membros devem assegurar que seja elaborado um único plano de gestão dos riscos de inundações ou um conjunto de planos de gestão dos riscos de inundações coordenado a nível da região hidrográfica".

Esta directiva foi transposta pelo Decreto-Lei nº115/2010, de 22 de Outubro, que aprova o quadro para avaliação e gestão dos riscos de inundações em Portugal. Este Decreto-Lei estabelece que a administração de cada região hidrográfica deverá avaliar o risco de inundações da sua região e criar medidas para a sua mitigação, incluindo a elaboração de cartas de zonas inundáveis (Artigo 7º)

e de cartas de risco de inundações (Artigo 8º), bem como planos de gestão dos riscos de inundações (Artigo 9º).

O Decreto-Lei vem reforçar o que já estava previsto na Lei da Água, Lei nº58/2005 de 29 de Dezembro, que estabelecia, a título obrigatório, a demarcação das zonas inundáveis ou ameaçadas pelas cheias pelos instrumentos de planeamento dos recursos hídricos e de gestão territorial.

Há a destacar o artigo 12º que prevê a articulação do Decreto-Lei com instrumentos de gestão territorial e com a reserva ecológica nacional (REN), considerando que "Os planos de gestão dos riscos de inundações devem considerar as opções e medidas de natureza estratégica em matéria de cheias e inundações previstas no Programa Nacional de Política de Ordenamento do Território, nos planos regionais de ordenamento do território e nos planos intermunicipais de ordenamento do território". O artigo estabelece, ainda, que os Planos de Emergência de Protecção Civil e os Planos Especiais e Intermunicipais devem estar em conformidade com os Planos de Gestão dos Riscos de Inundação. Considera-se, também, que as cartas realizadas no âmbito deste Decreto-Lei devem ser utilizadas para delimitação das zonas inundáveis e zonas ameaçadas por cheias, bem como na elaboração das cartas da REN.

## **3.2 Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo**

Um plano de gestão de região hidrográfica (PGRH) é um instrumento de planeamento dos recursos hídricos que pressupõe a gestão, protecção e valorização ambiental, social e económica das águas ao nível das bacias hidrográficas integradas numa região hidrográfica (Ambiente A. -A., Planos de Gestão de Região Hidrográfica, 2013). Estes planos têm três grandes objectivos: garantir o uso sustentável dos recursos hídricos, de forma a permitir a satisfação das necessidades actuais sem comprometer as gerações futuras, assegurar uma gestão das águas equilibrada com o desenvolvimento regional e as políticas sectoriais, os direitos individuais e os interesses locais, considerando todos os seus usos possíveis e os seus valores económicos e fixar normas de qualidade ambiental e critérios de avaliação do estado da água.

A região hidrográfica do Tejo (RHT), que engloba território português e espanhol numa área total de aproximadamente 81 310km<sup>2</sup>, divide-se em 23 sub-bacias, entre as quais se destaca a sub-bacia da Grande Lisboa, onde se insere a Ribeira da Laje.

Para conseguir alcançar os grandes objectivos traçados para a RHT, foram delimitadas sete áreas temáticas de estudo: 1. Quadro institucional e normativo; 2. Quantidade de água; 3. Gestão de riscos e valorização do Domínio Hídrico; 4. Qualidade da água; 5. Monitorização, investigação e conhecimento; 6. Comunicação e governança; 7. Quadro económico e financeiro (Ambiente A. -A., PLANO DE GESTÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO TEJO - RELATÓRIO TÉCNICO Versão Extensa. PARTE 5 – OBJECTIVOS, 2012).

Assim, no ponto 3 são abordadas as problemáticas associadas a riscos naturais e antropogénicos, focando-se a prevenção e mitigação dos riscos, com enfoque para as cheias, secas e poluição accidental, onde se realizam as medidas já descritas para a mitigação dos riscos de cheias, que passam pela elaboração das cartas zonas inundáveis ou ameaçadas por cheias e cartas de riscos de inundações, bem como planos de gestão dos riscos de inundações centrados na prevenção, protecção, preparação e previsão destes fenómenos.

Entre os relatórios disponibilizados no PGRH encontram-se as Fichas de Medidas (Ambiente A. -A., PLANO DE GESTÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO TEJO. FICHAS DE MEDIDAS, 2012), onde são apresentadas um conjunto de medidas que visam alcançar os objectivos definidos no PGRH. De seguida apresentam-se aquelas que se consideraram mais relevantes para a prevenção e mitigação das cheias na região da Grande Lisboa:

**Tabela 3.1 Medidas de carácter de prevenção e mitigação do risco de cheias na região da Grande Lisboa previstas no PGRHT**

Medida	Descrição	Período de implementação
Reabilitação e requalificação de linhas de água	Com a presente medida pretende-se realizar um diagnóstico do estado de conservação dos rios, identificando as causas da sua degradação, procedendo à elaboração de protocolos de actuação a aplicar à totalidade da região hidrográfica, nomeadamente de um código de boas práticas para a limpeza e conservação de linhas de água. Simultaneamente pretende-se promover a elaboração e execução de projectos, envolvendo os vários actores-chave, para a reabilitação e requalificação das linhas de água.	2011-2015
Elaboração do projecto do "Guia metodológico para elaboração do Plano de Gestão de Risco de Inundações para Zonas Urbanas"	A presente medida tem por objectivo a produção de um guia metodológico para elaboração de Plano de Gestão de Risco de Inundações para zonas urbanas que defina com clareza as competências e responsabilidades de cada organismo nesta matéria e que proponha um conjunto de metodologias e procedimentos que permitam produzir com celeridade e qualidade os Planos de Gestão do Risco de Inundação. No quadro deste objectivo mais vasto incluem-se objectivos instrumentais tais como a avaliação preliminar do risco de inundações e a elaboração de cartas de zonas inundáveis e de risco de inundações, elementos que constituem a base dos planos. Para efeitos de validação, as metodologias propostas serão aplicadas e testadas à bacia hidrográfica da ribeira das Vinhas, no Município de Cascais. A especificidade das bacias urbanas designadamente as suas dimensões e características de elevada ocupação do solo que dão origem a cheias repentinas com um risco significativo de perdas de vidas humanas, justifica uma metodologia própria. A bacia hidrográfica da ribeira das Vinhas, localizada no município de Cascais, será utilizada para validar as metodologias propostas.	2012-2013
Prevenção e gestão de riscos naturais e tecnológicos do município de Cascais	No Plano de Emergência do município de Cascais são tidos em conta os riscos de seca e os riscos de cheia, nesse sentido, são definidas e divulgadas as acções a tomar mediante situações deste tipo.	2010-2015
Desenvolvimento de Planos de Gestão dos Riscos de Inundações	A medida surge no sentido de dar cumprimento à Directiva 2007/60/CE que tem por objectivo estabelecer um quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, a fim de reduzir as consequências associadas às inundações, definindo a necessidade de elaboração de Planos de Gestão dos Riscos de Inundações (PGRI) para zonas habitualmente inundáveis. Nesse sentido, inclui ainda a elaboração de Cartografia sobre Risco de Inundações visando a obtenção do Cadastro Nacional e a elaboração do relatório de diagnóstico das principais situações de risco associado a zonas inundáveis.	2012-2015

Definição de áreas a preservar ao nível da região hidrográfica	A medida consiste na realização de um diagnóstico do estado de conservação dos rios, identificando os troços ou cursos de água a preservar, troços de rio ou rios em condições pristinas, ou que constituam o “melhor disponível” para cada tipo de rio ( <i>nogo</i> áreas). Adicionalmente, proceder-se-á à identificação de propostas de medidas de conservação.	2013-2015
--	---	-----------

### 3.3 Reserva Ecológica Nacional

Criada em 1983 pelo Decreto-Lei nº321/83, de 5 de Julho, a REN apareceu com o intuito de “salvaguardar, em determinadas áreas, a estrutura biofísica necessária para que se possa realizar a exploração dos recursos e a utilização do território sem que sejam degradadas determinadas circunstâncias e capacidades de que dependem a estabilidade e fertilidade das regiões, bem como a permanência de muitos dos seus valores económicos, sociais e culturais” e integrava “áreas indispensáveis à estabilidade ecológica do meio e à utilização racional dos recursos naturais, tendo em vista o correcto ordenamento do território”, onde se incluíam entre outros “leitos normais dos cursos de água, zonas de galeria e faixas amortecedoras, além das suas margens naturais”, “cabeceiras dos cursos de água...” e “áreas de infiltração máxima...” (Decreto-Lei nº321/83, Artigo 1º c), d) e g)).

Este Decreto-Lei foi revogado em 1990 (Decreto-Lei nº93/90) e entretanto já sofreu várias actualizações, tendo a última ocorrido com o Decreto-Lei nº 239/2012, de 2 de Novembro. Actualmente, o funcionamento da REN assenta em quatro grandes objectivos (Decreto-Lei nº166/2008, Artigo 2º, 3-a), b), c) e d)):

- a) Proteger os recursos naturais água e solo, bem como salvaguardar sistemas e processos biofísicos associados ao litoral e ao ciclo hidrológico terrestre, que asseguram bens e serviços ambientais indispensáveis ao desenvolvimento das actividades humanas;
- b) Prevenir e reduzir os efeitos da degradação da recarga de aquíferos, dos riscos de inundação marítima, de cheias, de erosão hídrica do solo e de movimentos de massa em vertentes, contribuindo para a adaptação aos efeitos das alterações climáticas e acautelando a sustentabilidade ambiental e a segurança de pessoas e bens;
- c) Contribuir para a conectividade e a coerência ecológica da Rede Fundamental de Conservação da Natureza;
- d) Contribuir para a concretização, a nível nacional, das prioridades da Agenda Territorial da União Europeia nos domínios ecológico e da gestão transeuropeia de riscos naturais.

De acordo com os seus objectivos, e num sentido restritivo (condicional), a REN integra áreas de protecção do litoral, áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre e áreas de prevenção de riscos naturais. De forma discriminada apresentam--se na tabela seguinte as áreas integradas pela REN com destaque para as mais relevantes no âmbito do presente trabalho, de acordo com o Decreto-Lei nº166/2008 Artigo 4º e Decreto-Lei nº239/2012 Artigo 4º:

**Tabela 3.2 Áreas integradas na REN**

Protecção do litoral	<p>a) Faixa marítima de protecção costeira;  <b>b) Praias;</b>  c) Barreiras detriticas;  d) Tómbolos;  e) Sapais;  f) Ilhéus e rochedos emersos no mar;  g) Dunas costeiras e dunas fósseis;  h) Arribas e respectivas faixas de protecção;  <b>i) Faixa terrestre de protecção costeira;</b>  <b>j) Águas de transição e respectivos leitos, margens e faixas de protecção.</b></p>
Áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre	<p><b>a) Cursos de água e respectivos leitos e margens;</b>  <b>b) Lagoas e lagos e respectivos leitos, margens e faixas de protecção;</b>  <b>c) Albufeiras que contribuam para a conectividade e coerência ecológica da REN, bem como os respectivos leitos, margens e faixas de protecção;</b>  <b>d) Áreas estratégicas de protecção e recarga de aquíferos.</b></p>
Áreas de prevenção de riscos naturais	<p><b>a) Zonas adjacentes;</b>  <b>b) Zonas ameaçadas pelo mar;</b>  <b>c) Zonas ameaçadas pelas cheias;</b>  <b>d) Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo;</b>  e) Áreas de instabilidade de vertentes.</p>

Com um carácter obrigatório em todo o território nacional, a REN prevê um conjunto de restrições nas áreas que integra, sendo estas restrições, de acordo com o Decreto-Lei nº166/2008 Artigo 20º e Decreto-Lei nº239/2012 Artigo 20º, a proibição de:

- a) Operações de loteamento;
- b) Obras de urbanização, construção e ampliação;
- c) Vias de comunicação;
- d) Escavações e aterros;
- e) Destruição do revestimento vegetal, não incluindo as acções necessárias ao normal e regular desenvolvimento das operações culturais de aproveitamento agrícola do solo e das operações correntes de condução e exploração dos espaços florestais.

Exceptuando quando estes usos e acções sejam compatíveis com os objectivos da REN.

### 3.4 Zonas Adjacentes

A 5 de Novembro de 1971, com o objectivo de rever, actualizar e unificar o regime jurídico dos terrenos incluídos no domínio público hídrico, procedeu-se à criação do Decreto-Lei nº468/71. Além de esclarecer alguns conceitos presentes na lei, este Decreto-Lei veio introduzir uma nova figura no domínio público hídrico à qual se chamou Zona adjacente e que foi, então definida como "toda a área contígua à margem que como tal seja classificada por decreto, por se encontrar ameaçada pelo mar ou pelas cheias" (Decreto-Lei nº468/71 Artigo 4º,nº1), sendo que se considerava zona ameaçada por cheias "a área contígua à margem de um rio que se estenda até à linha alcançada pela maior cheia



que se produza no período de um século", em que esta classificação seria conferida pelo Ministério das Obras Públicas (Decreto-Lei nº468/71 Artigo 14º, nº1 e 2). Ainda de acordo com este Decreto-Lei, nas zonas adjacentes seria obrigatório um parecer positivo da Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos, e em última instância do Ministro das Obras Públicas, nos planos de urbanização e expansão para que estes pudessem ser realizados.

A 4 de Janeiro de 1984, em sequência das grandes cheias que afectaram Lisboa e arredores em 1983, foi criado um grupo de trabalho para analisar as causas e efeitos das cheias e medidas a adoptar, pela Resolução do Conselho de Ministros nº2/84. Destes estudos concluiu-se que as cheias eram causadas, em grande parte, devido ao aumento das áreas impermeabilizadas e à obstrução das áreas contíguas aos cursos de água pela ocupação urbana. Também nesta altura se realizaram estudos para a Ribeira da Laje que concluíram a existência de risco de cheias para a região agravados pela crescente urbanização. Assim, em 26 de Setembro de 1986 foi adoptado o Decreto Regulamentar nº45/86 que classifica como "zona adjacente à ribeira da Laje toda a área contígua às suas margens" (Decreto Regulamentar nº45/86, Artigo único, nº1).

Mais tarde procedeu-se à revisão do anterior Decreto-Lei com o Decreto-Lei nº89/87 de 26 de Fevereiro, que entre outras questões do foro legal, esclareceu que nas zonas classificadas com adjacentes seria proibido (Decreto-Lei nº89/87, Artigo 15º):

- a) Destruir o revestimento vegetal ou alterar o relevo natural, com excepção da prática de culturas tradicionalmente integradas em explorações agrícolas;
- b) Instalar vazadouros, lixeiras, parques de sucata ou quaisquer outros depósitos de materiais;
- c) Implantar edifícios ou realizar obras susceptíveis de construir obstrução à livre passagem das águas;
- d) Dividir a propriedade rústica em áreas inferiores à unidade mínima de cultura.

No entanto, apesar das restrições anteriores, obras e infra-estruturas de correcção hidráulica seriam permitas, desde que consentidas pela Direcção-Geral do Ordenamento do Território e pela Direcção-Geral dos Recursos Naturais. Instalações de lazer, sem edificado, ou edifícios complementares indispensáveis a outros já existentes também poderiam ser construídos sendo que careciam, novamente, de parecer positivo da Direcção-Geral do Ordenamento do Território e da Direcção-Geral dos Recursos Naturais.

Mais recentemente, a 15 de Novembro de 2005, foi estabelecida a Lei nº54/2005, onde se define no Artigo 25º que, além das restrições de usos anteriormente especificadas, nas zonas de ocupação edificada condicionada inseridas nas zonas adjacentes, a construção de edifícios só será permita quando os "efeitos das cheias sejam minimizados através de normas específicas, sistemas de protecção e drenagem e medidas para a manutenção e recuperação de condições de permeabilidade dos solos".

## 4 Caracterização da Ribeira da Laje

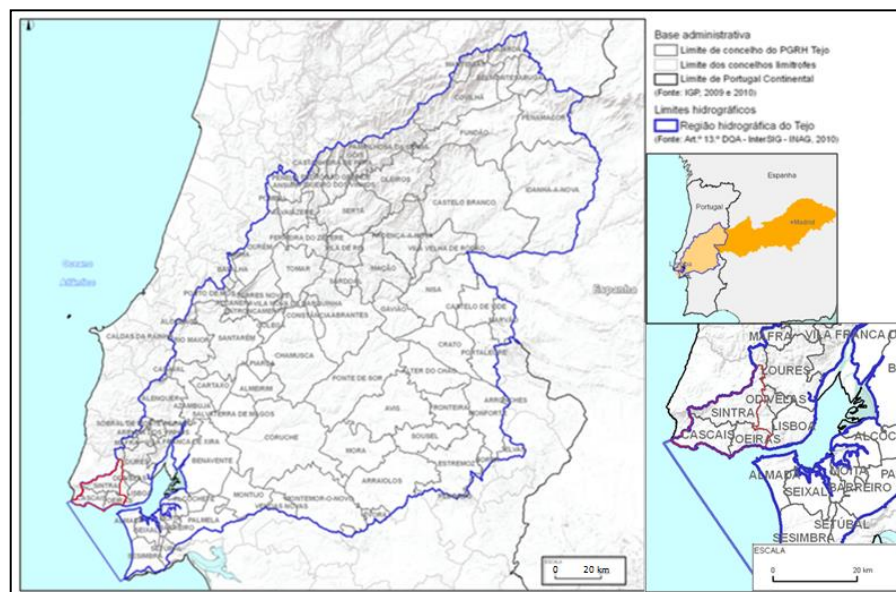
Neste capítulo faz-se uma descrição das características da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje. Inicialmente apresenta-se uma análise das características geométricas da bacia hidrográfica, seguindo-se uma caracterização da geologia, do clima e da ocupação dos solos.

Também neste capítulo são identificados os elementos de gestão da bacia hidrográfica.

Por fim, faz-se um breve enquadramento das cheias na bacia hidrográfica da Ribeira da Laje, apresentando-se casos passados e identificando-se as zonas mais problemáticas.

### 4.1 Localização

A bacia hidrográfica da Ribeira da Laje situa-se na região hidrográfica do Tejo, na zona da Grande Lisboa, e abrange os concelhos de Sintra, Oeiras e Cascais, com respectivamente 63%, 24% e 13%, aproximadamente, da sua área total.



**Figura 4.1 Localização da Ribeira da Laje, na Região Hidrográfica do Tejo. Fonte: (APA, Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo. Repositório de mapas, 2012)**

A Ribeira da Laje nasce na encosta oriental da Serra de Sintra e desagua no estuário do Tejo, na praia de Santo Amaro, em Oeiras.

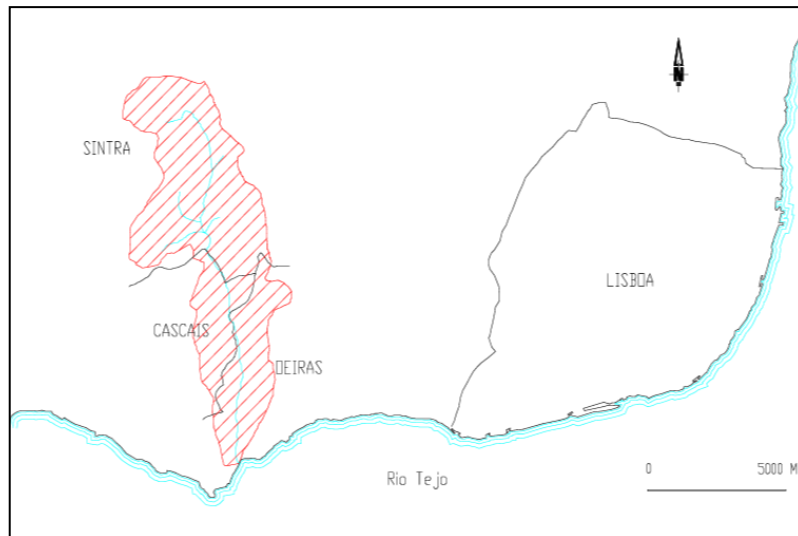


Figura 4.2 Representação da Ribeira da Laje. Fonte: (Saraiva, Correia, & Carmo, 1998)

## 4.2 Características Geométricas

### 4.2.1 Área e Perímetro

Para a delimitação da bacia hidrográfica, e obtenção de vários valores de parâmetros geométricos, foi utilizada a ferramenta de desenho computacional, AutoCAD. Os valores da área e do perímetro adotado da bacia hidrográfica são, respectivamente, 40,10km<sup>2</sup> e 37,20km.

A delimitação da bacia hidrográfica encontra-se no Anexo I.

### 4.2.2 Índice de Compacidade

A frequência com que ocorrem cheias numa bacia hidrográfica está parcialmente relacionada com a sua forma, verificando-se que nas bacias hidrográficas com formato circular, por terem tempos de concentração menores, ocorrem cheias com maiores caudais de ponta para chuvadas de curta duração. Assim, é relevante obter um indicador da forma da bacia, o que pode ser feito pelo índice de compacidade, ou índice de Gravelius.

Este índice representa a relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e o perímetro circular de uma bacia hidrográfica com área igual à da bacia em estudo, e é obtido pela expressão:

$$K_c = \frac{0,282 P}{\sqrt{A}}$$

4.1

Onde:

- $P$  - Perímetro da bacia hidrográfica (km);
- $A$  - Área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>).

A bacia hidrográfica em análise apresenta um índice de Gravelius de 1,66, sendo este um valor indicador de uma bacia hidrográfica alongada. As bacias hidrográficas com forma alongada são caracterizadas por percursos maiores, assim como maiores tempos de escoamento.

#### 4.2.3 Factor de Forma

A relação entre o comprimento da bacia hidrográfica e a largura média, pode ser expressa pelo factor de forma:

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad 4.2$$

Onde:

- $A$  - Área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>);
- $L$  - Comprimento do curso de água mais longo da bacia hidrográfica (km).

O factor de forma obtido é de 0,14, o que indica que a bacia hidrográfica tem uma forma estreita. Nestas bacias hidrográficas é menos provável a ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a área, e os escoamentos na secção terminal são mais distribuídos ao longo do tempo. Em igualdade de condições de distribuição da precipitação, nas bacias hidrográficas com factores de forma menores os caudais de ponta de cheia são menores (Hipólito & Vaz, 2011).

#### 4.2.4 Índice de Alongamento e Rectângulo Equivalente

O rectângulo equivalente da bacia hidrográfica é o rectângulo cuja área e perímetro são iguais aos da bacia hidrográfica. Os lados maior e menor do rectângulo equivalente de uma bacia hidrográfica são expressos, respectivamente, por:

$$L_e = \frac{P}{4} + \sqrt{\frac{P^2}{16} - A} \quad 4.3$$

$$l_e = \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - A} \quad 4.4$$

O índice de alongamento de uma bacia hidrográfica permite avaliar a forma da bacia hidrográfica relativamente a um quadrado, e é expresso por:

$$K_L = \frac{L_e}{l_e} \quad 4.5$$

As bacias hidrográficas com  $K_L$  superiores a 2 podem ser classificadas como alongadas.

O factor de alongamento da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje é de 9,84, confirmando a forma alongada.

### 4.3 Características do Sistema de Drenagem

#### 4.3.1 Ordem

Para caracterizar o grau de ramificação da rede hidrográfica pode-se classificar a ordem dos cursos de água de acordo com vários critérios, sendo que para esta análise foi utilizado o método de Horton-Strahler.

Nesta classificação, as ordens são atribuídas partindo nas nascentes até a secção terminal da bacia hidrográfica, seguindo as seguintes regras: os cursos de água sem afluentes são de 1ª ordem, cursos de água que resultam da confluência de dois cursos de água da mesma ordem  $n$ , têm ordem  $n+1$ , e os cursos de água a jusante da confluência de dois cursos de água com ordens diferentes mantêm o valor da ordem superior.



Figura 4.3 Classificação da ordem da bacia hidrográfica

### 4.3.2 Razão de Bifurcação

Através da classificação da ordem da bacia hidrográfica, pode-se calcular a razão de bifurcação,  $R_{bn}$ , que relaciona o número de segmentos de uma determinada ordem, com o número de segmentos da ordem imediatamente superior. A razão de bifurcação pode ser obtida pela expressão:

$$R_{bn} = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad 4.6$$

Tabela 4.1 Razão de bifurcação da bacia hidrográfica

Ordem ( $u$ )	Número ( $N_u$ )	Relação de Bifurcação
1	104	4,95
2	21	7,00
3	3	3,00
4	1	-
<b>Média</b>		4,98

Quanto mais elevada for esta razão mais alongada tende a ser a bacia hidrográfica.

### 4.3.3 Densidade de Drenagem e Percurso Médio Sobre o Terreno

A densidade de drenagem da bacia hidrográfica relaciona o comprimento total dos cursos de água da bacia e a sua área.

$$\lambda = \frac{1}{A} \sum_i l_i \quad 4.7$$

Onde:

- $\lambda$  - Densidade de drenagem ( $\text{km}^{-1}$ );
- $A$  - Área da bacia hidrográfica ( $\text{km}^2$ );
- $l_i$  - Comprimento da linha de água  $i$  (km).

A densidade de drenagem da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje obtida foi de  $1,88 \text{ km}^{-1}$ . Segundo (Lencastre & Franco, 1992), este valor varia normalmente entre  $0,5$  e  $3,5 \text{ km}^{-1}$ . Os valores mais elevados correspondem a bacias hidrográficas com relevo acentuado e pouco permeáveis.

O percurso médio sobre o terreno pode ser obtido pela expressão:

$$L_p = \frac{1}{2\lambda} \quad 4.8$$

Com unidades de km.

O valor da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje é de 0,27 km. Pode-se, assim, considerar que esta bacia hidrográfica é relativamente bem drenada.

## 4.4 Características do Relevo

### 4.4.1 Curva Hipsométrica

A curva hipsométrica tem como função representar graficamente o relevo de uma bacia hidrográfica. Para tal, relacionam-se as altitudes ou cotas do terreno e as áreas da bacia hidrográfica que se encontram acima dessas altitudes.

De seguida apresenta-se a bacia hidrográfica da Ribeira da Laje dividida de acordo com as linhas de nível, e a curva hipsométrica obtida.

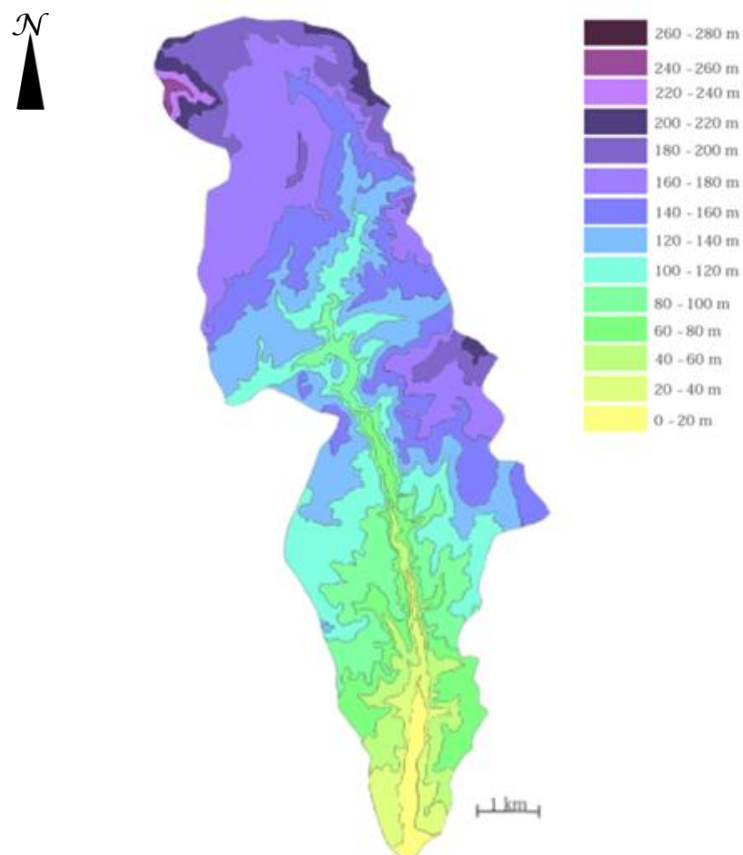


Figura 4.4 Áreas consideradas para a construção da curva hipsométrica

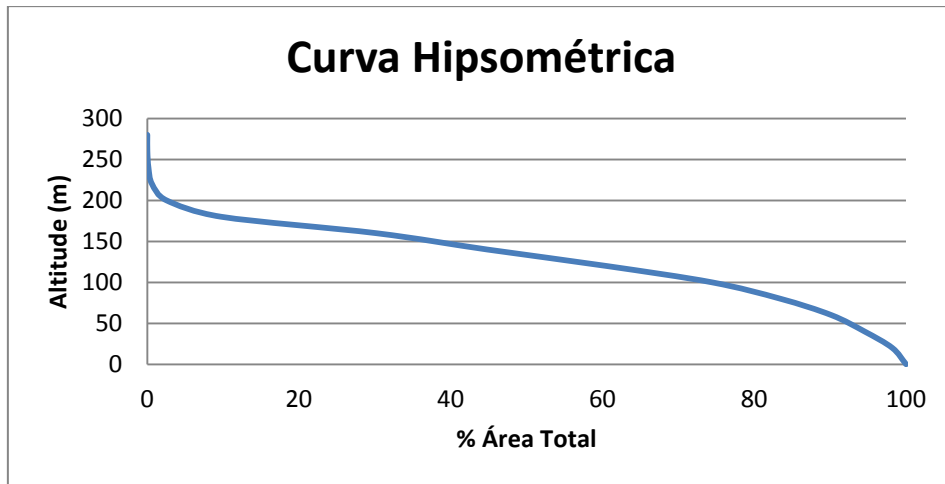


Figura 4.5 Curva Hipsométrica do curso de água principal da Ribeira da Laje

Pela forma da curva hipsométrica pode-se concluir que a bacia hidrográfica em estudo é jovem.

#### 4.4.2 Altura Média

Para o cálculo da altura média da bacia hidrográfica pode-se utilizar a seguinte expressão:

$$\bar{H} = \bar{Z} - Z_{100} \quad 4.9$$

Onde:

- $\bar{H}$  - Altura média da bacia hidrográfica (m) ;
- $\bar{Z}$  - Altitude média da bacia hidrográfica (m);
- $Z_{100}$  - Altitude da bacia hidrográfica correspondente à área total(100%)(m). Como a Ribeira da Laje desagua no Estuário do Tejo, próximo do limite exterior,  $Z_{100}$  é igual ao nível médio das águas do mar, 0.

Por sua vez,  $\bar{Z}$  pode ser obtido através da equação:

$$\bar{Z} = \frac{1}{A_{total}} \sum_{i=1}^n Z_i A_i \quad 4.10$$

Onde:

- $A_{total}$  - Área total da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>);
- $Z_i$  - Cota da área  $i$  da bacia hidrográfica (m);
- $A_i$  - Área  $i$  da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>).

A altura média da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje é, aproximadamente, de 138 m.



#### 4.4.3 Perfil do Rio

Para caracterizar o comportamento das bacias hidrográficas, é importante analisar os perfis longitudinais dos cursos de água principais, uma vez que o escoamento é influenciado predominantemente pelos declives dos cursos de água. Na Figura 3.6 apresenta-se o perfil longitudinal do curso de água principal da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje.

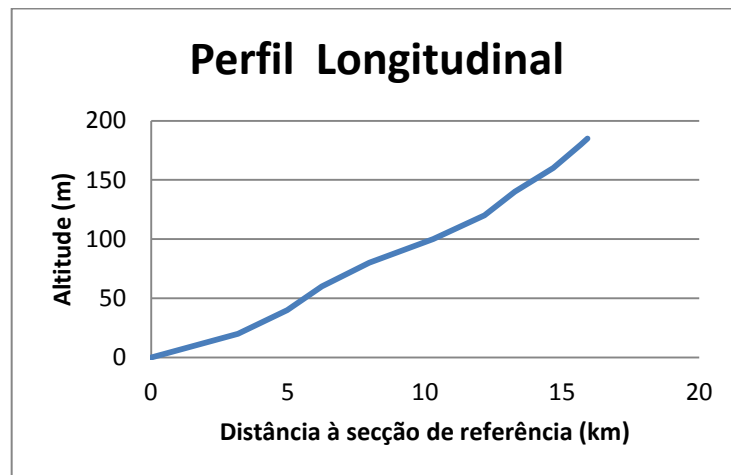


Figura 4.6 Perfil longitudinal do curso de água principal

No perfil longitudinal do curso de água principal pode-se observar que os declives são relativamente elevados, sem grandes variações, embora menores no trecho de jusante, o que determina que o escoamento dos caudais de cheia é torrencial em quase todo o percurso.

Devido aos elevados declives, as velocidades de escoamento são relativamente elevadas na zona de montante da bacia hidrográfica, determinando o elevado transporte de sólidos particularmente durante as cheias. Mais para jusante os declives diminuem, promovendo a deposição dos sólidos transportados no leito e nas margens, especialmente a montante de singularidades, como secções de pontes.

#### 4.4.4 Declives do Leito

Através do conhecimento do perfil do leito é possível determinar o seu declive. Procedeu-se, então, ao cálculo do declive médio e do declive equivalente do curso de água principal, como explicado de seguida.

#### 4.4.4.1 Declive médio

$$i_{med} = \frac{Z_{max} - Z_{min}}{L} \quad 4.11$$

Onde:

- $Z_{max}$  - Cota máxima do curso de água (m);
- $Z_{min}$  - Cota mínima do curso de água (m);
- $L$  - Comprimento total do curso de água principal (m).

Admitindo que  $Z_{max}$  é 185 m e que  $Z_{min}$ , na foz, é de 0 m, e que o curso de água principal tem um comprimento de cerca de 15,92 km, obtém-se um declive médio de 1,16%.

#### 4.4.4.2 Declive equivalente do leito

$$i_{eq} = \frac{Z_{eq} - Z_{min}}{L} \quad 4.12$$

Onde

- $Z_{eq}$  - Cota equivalente (m),

$Z_{eq}$  pode ser obtida pela fórmula:

$$Z_{eq} = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{n-1} (Z_i + Z_{i+1}) X'_{i+1} - Z_{min} \quad 4.13$$

- $X'_{i+1}$  - Distância entre as secções do leito do rio com altitude (cota)  $i$  e altitude  $i + 1$ .

A cota equivalente do curso de água principal é de aproximadamente 160m, o que resulta num declive equivalente de 0,99%.

#### 4.4.5 Declive da Bacia Hidrográfica

Para o cálculo do declive de uma bacia hidrográfica há diversos métodos, com diferentes graus de complexidade, que se podem utilizar. Para simplificar o cálculo utilizou-se o índice do declive de *Roche*, que pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$I_p = \frac{Z_{max} - Z_{min}}{L_e}$$

Onde:

- $Z_{max}$  - Cota máxima da bacia hidrográfica (m);
- $Z_{min}$  - Cota mínima da bacia hidrográfica (m);
- $L_e$  - Lado maior do rectângulo equivalente da bacia hidrográfica (m).

O declive da bacia hidrográfica é de 1,31%.

Na tabela seguinte apresenta-se uma síntese das características geométricas da bacia hidrográfica:

**Tabela 4.2 Características geométricas da Bacia da Ribeira da Laje**

Parâmetro	Valor
Área total (km <sup>2</sup> )	40,10
Área no concelho de Sintra (km <sup>2</sup> )	25,15
Área no concelho de Oeiras (km <sup>2</sup> )	9,77
Área no concelho de Cascais (km <sup>2</sup> )	5,18
Perímetro (km)	37,20
Comprimento do curso de água principal (km)	16,72
Comprimento da rede de drenagem (km)	61,60
Altura máxima do curso de água principal (m)	185,00
Altura mínima do curso de água principal (m)	0,00
Altura média da bacia hidrográfica (m)	137,86
Declive médio da bacia hidrográfica (%)	1,16
Declive equivalente do leito (%)	0,99
Índice de Gravelius	1,66
Factor de forma	0,14
Índice de alongamento	6,47
Rectângulo equivalente	
Comprimento (km)	16,11
Largura (km)	2,49
Densidade de drenagem (km <sup>-1</sup> )	1,88

## 4.5 Geologia

Do ponto de vista geológico, a área de estudo apresenta várias zonas distintas, com formações que acompanham toda a área da bacia hidrográfica.

A zona norte da bacia hidrográfica é composta essencialmente por calcários e margas, do Jurássico e Cretácico Inferior. Nesta zona há, ainda, presença de formações calcárias e arenitos. Na zona sul da bacia hidrográfica, a paisagem continua a ser marcada pela presença de calcários, maioritariamente do Cretácico Superior, sendo já próximo do concelho de Oeiras que, suprajacente à formação calcária ou no seu interior, em filões-camadas e chaminés vulcânica, se encontra o "Complexo Basáltico de Lisboa" constituído por basaltos lávicos com intercalações de piroclastos.

A sul da povoação da Laje até Oeiras floram formações Miocénicas, constituídas por calcários brandos fossilíferos, calcarenitos e areolas. A restante área da bacia hidrográfica, até à foz, é dominada por formações calcárias do Cretácico Superior, com a presença de formações basálticas.

Com excepção das formações basálticas do Complexo Basáltico de Lisboa, as formações litológicas da bacia hidrográfica são, de forma predominante, permeáveis (Hidro4, 1988).

## 4.6 Clima

A bacia hidrográfica da Ribeira da Laje caracteriza-se por ter um clima ameno, relativamente confortável para ocupação humana durante todo o ano.

As temperaturas médias mensais variam entre um mínimo de aproximadamente 11°C e um máximo de cerca de 22°C, sendo os meses mais frios os de Dezembro e Janeiro, e os meses mais quentes entre Junho e Setembro.

As humidades relativas também são confortáveis ao longo do ano, sendo de, aproximadamente, 55% no mês mais seco, em Agosto, e 73% no mês de Janeiro.

Os ventos dominantes na bacia hidrográfica são os de Norte, Noroeste e Nordeste, sendo Agosto, por norma, o mês mais ventoso, com velocidades a rondar os 22km/h.

A precipitação ao longo do ano é típica dos climas mediterrânicos, sendo concentrada nos meses de Outono e Inverno e escassa nos meses mais quentes de Verão, entre Junho e Setembro (Câmara Municipal de Oeiras, 2010).

## 4.7 Solos

De acordo com a classificação do solo, a bacia hidrográfica classifica-se como dominada por o tipo de solo C, sendo este um solo com baixa intensidade de infiltração e, portanto, com um potencial de escoamento acima da média e com elevado risco de erosão. Estão, ainda, presentes solos de categoria B e D, ainda que em menor escala, sendo característico destes, respectivamente, um potencial de escoamento interior à média e um potencial de escoamento elevado (Municipia, 2011; Hidro4, 1998).

Considerando esta classificação, e tendo em conta o tipo de ocupação dos solos, estimou-se um número de escoamento, NC, de 87 para a bacia em estudo, de acordo com o proposto em (Hipólito & Vaz, 2011), para ruas e estradas de terra batida.

## 4.8 Evolução da ocupação do território

Nas últimas décadas a bacia hidrográfica da Ribeira da Laje tem sofrido um intenso crescimento de aglomerados urbanos, que embora tenha ocorrido de uma forma geralmente ordenada e integrada tem contribuído para o aumento da área impermeável e, conseqüentemente, para o agravamento do risco de cheias (Municipia, 2011). Actualmente, cerca de metade da área da bacia hidrográfica é ocupada por tecido urbano, organizado em centros descontínuos, verificando-se que a maior ocupação do solo com usos urbanos ocorre na zona norte da bacia hidrográfica.

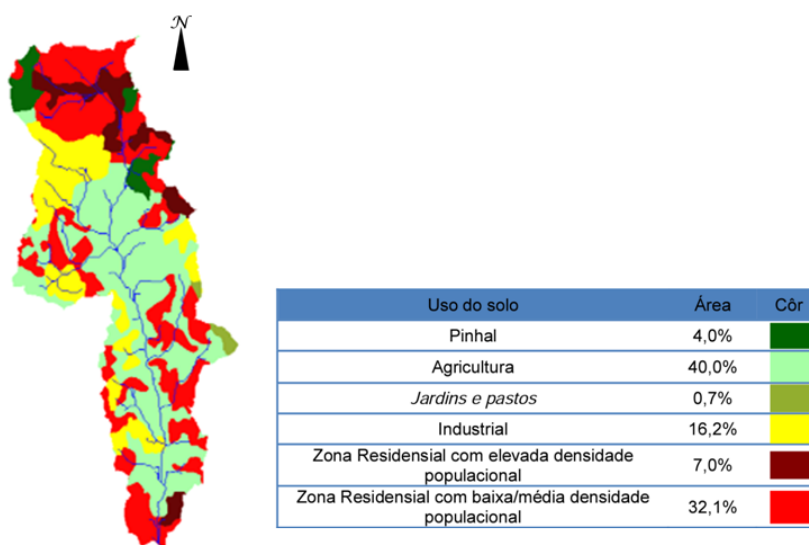


Figura 4.7 Uso de solo na bacia da Ribeira da Laje. Fonte: (Costa A. C., 2009)

A imagem seguinte ilustra a evolução do tipo de ocupação do solo em Oeiras, entre 1947 e 2009.

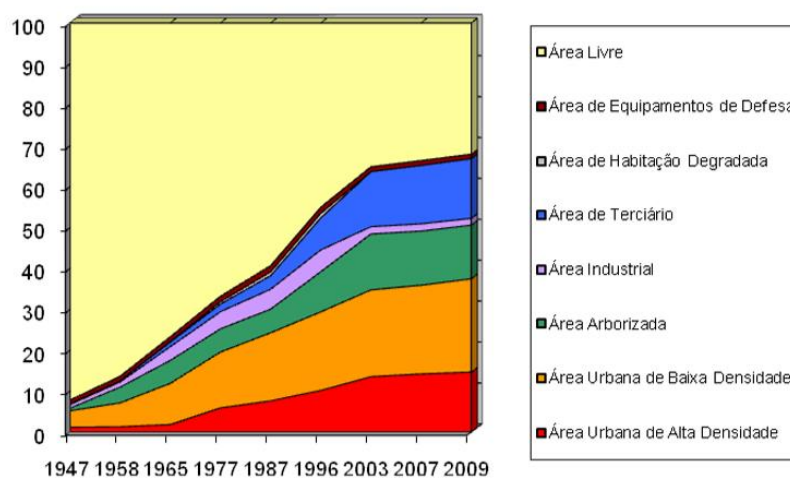
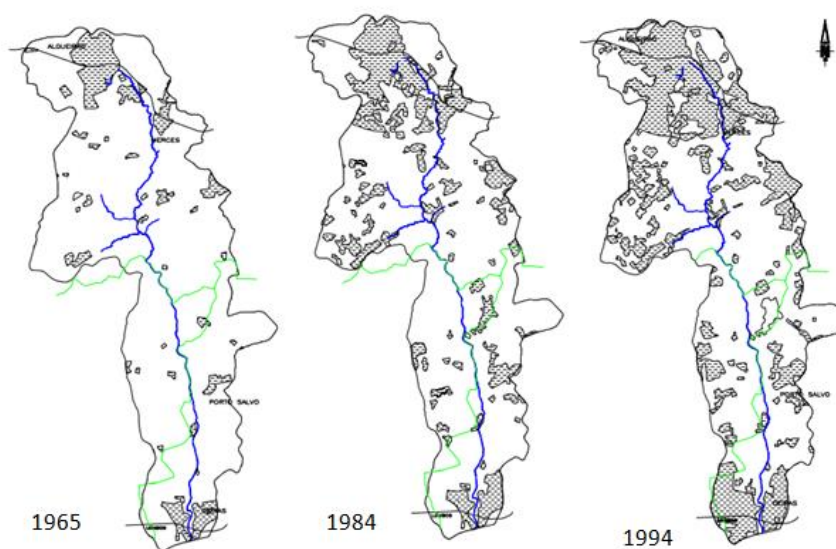


Figura 4.8 Evolução da ocupação do solo em Oeiras, entre 1947 e 2009. Fonte: (Municipia, 2011)

Como se pode observar na figura anterior, no concelho de Oeiras, ao longo das últimas décadas, as áreas urbanas têm vindo a aumentar de forma considerável, em detrimento das áreas livres que têm vindo a diminuir desde cerca de 90% da área total do concelho, em 1947, para apenas 30% em 2009.

Apesar de apenas 24% da área total da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje se inserir no município de Oeiras, esta tendência também se verifica na restante bacia hidrográfica. Entre 1965 e 1994 a área urbanizada da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje triplicou, de 10.3% para 32.0% (Saraiva, Correia, & Carmo, 1998) e, dados mais recentes, apontam para uma área artificializada da bacia hidrográfica de aproximadamente 59%, em 2010 (Municipia, 2011).



**Figura 4.9** Evolução das áreas edificadas na Ribeira da Laje. Fonte: (Saraiva, Correia, & Carmo, 1998)

## 4.9 Elementos de gestão da Ribeira da Laje

Integrada na Região Hidrográfica do Tejo, a um nível geral a gestão da Ribeira da Laje enquadra-se no Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo (PGRHT), que assume como grande objectivo a protecção e gestão das águas, compatibilizando todos os seus possíveis usos. Um dos pontos abordados no PGRHT é a problemática das cheias, e a necessidade de correcção e mitigação dos seus riscos. Neste sentido, a Ribeira da Laje é identificada no PGRHT como zona crítica em toda a sua extensão.

De forma mais promenorizada, o problema de inundações na bacia hidrográfica da Ribeira da Laje é abordado nos PDMs dos concelhos pelos quais é abrangida (Sintra, Cascais e Oeiras), existindo em todos um reconhecimento da necessidade de regularização da situação. Estando os PDM dos três concelhos abrangidos em revisão, esta é uma fase propícia para implementar medidas

de carácter estratégico nomeadamente através da (re)organização da ocupação do território e da criação de meios de protecção e minimização dos riscos de cheias.

Da análise dos vários planos de caracterização biofísica e das plantas de condicionantes, pode-se verificar que a delimitação de áreas de protecção afectas à Reserva Ecológica Nacional (REN) estão a ser consideradas na delimitação dos novos PDM, o que pressupõe a conservação das áreas com maior risco de inundação e maior potencial de infiltração, nomeadamente através do controlo do uso dos solos. Contudo, prevê-se que a expansão urbanística dentro dos limites da bacia hidrográfica continue, e nas sugestões apresentadas para os novos PDM pode-se observar a pretensão de afectação de algumas das suas áreas para espaços urbanos.

Por exemplo, a proposta para o PDM de Sintra prevê que Algueirão, Mem-Martins e Rio de Mouro aumentem as suas áreas urbanizáveis e desafectem da REN algumas áreas (Sintra, 2012).

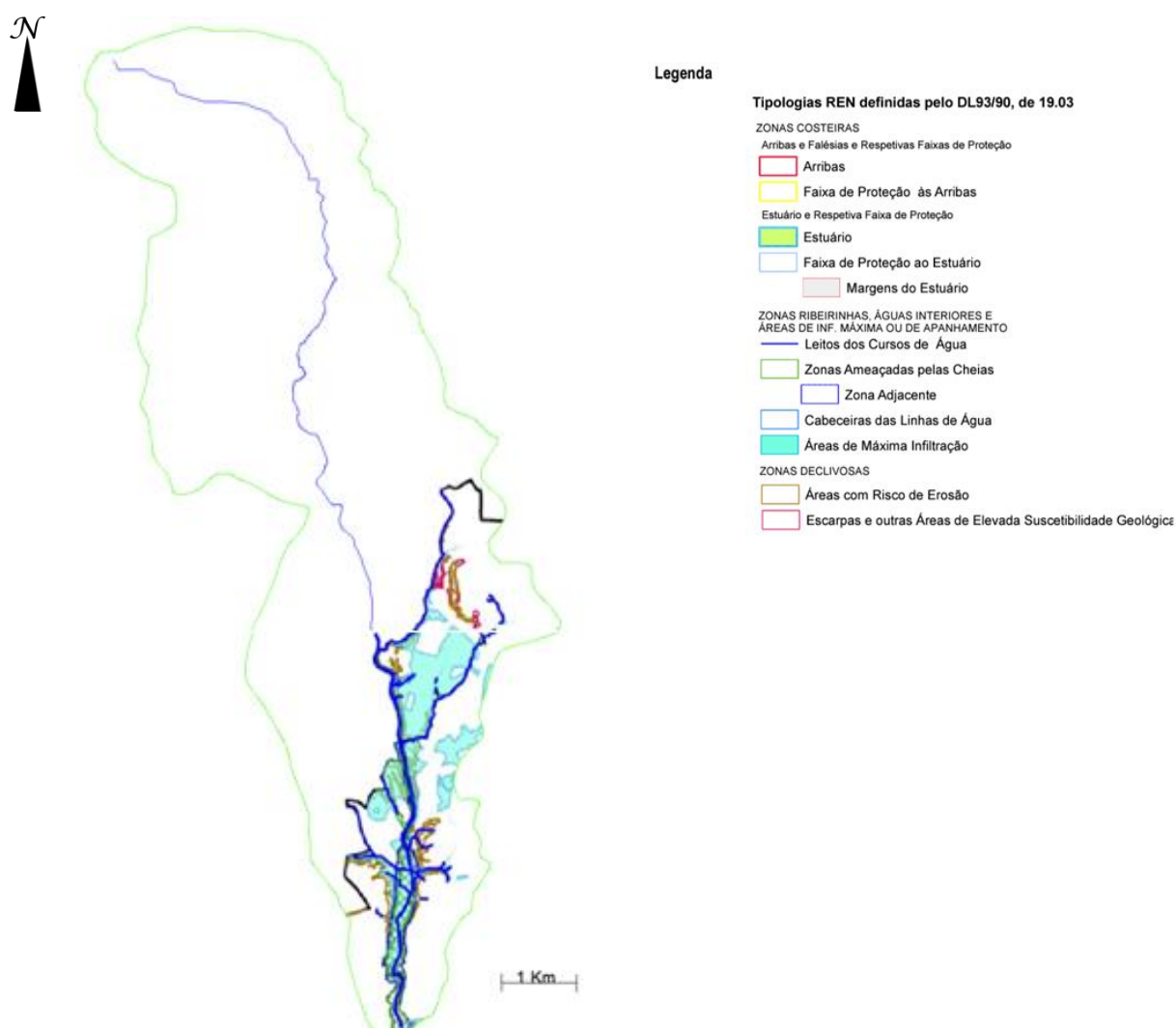


Figura 4.10 Áreas afectas à REN no concelho de Oeiras. Fonte: (Câmara Municipal de Oeiras, 2013)

Outro meio de protecção existente na Ribeira da Laje é a sua classificação como zona adjacente, estatuto que já tem desde 1986 e que lhe foi atribuído no seguimento de estudos relativos às cheias de Novembro de 1983. Neste âmbito, como zona adjacente considera-se a área contígua à margem que se encontre ameaçada por cheias, e é delimitada desde "o limite da margem até uma linha convencional (...) que corresponde à linha alcançada pela maior cheia, com período de retorno de 100 anos..." (art.24º da Lei nº54/2005). De acordo com o previsto na lei, as zonas adjacentes são património sujeito a restrições de utilização pública e, como tal, é proibida a construção de edifícios que obstruam a livre passagem das águas e a destruição do seu revestimento vegetal (art. 25º da Lei nº 54/2005).

#### 4.10 Historia de cheias na Ribeira da Laje

De acordo com (Ramos & Reis, 2001), no século XX, em Portugal as cheias foram o fenómeno natural que mais mortes causou. As cheias rápidas são normalmente aquelas que, devido às suas características, têm um comportamento mais violento e que mais danos causam. Em Portugal existem vários exemplos de cheias rápidas que comprovam a gravidade e o risco que estes fenómenos apresentam.

Entre 25 e 26 de Novembro de 1967 ocorreu uma das maiores cheias alguma vez registada em Portugal. Com especial intensidade em Lisboa e arredores, a catástrofe deveu-se às fortes chuvadas num curto espaço de tempo, havendo registos de medições de precipitação, das áreas mais afectas, sendo que os valores registados para as estações do Aeroporto de Lisboa, Monte Estoril e São Julião do Tojal, entre as 19 horas do dia 25 e a 1 hora do dia 26, foram de, respectivamente, 77,5mm, 129,7mm e 115,3mm. Se considerarmos as medições do dia inteiro, entre as 10 horas do dia 25 e as 10 horas do dia 26, estes valores aumentam para 109,4mm, 158,7mm e 131,9mm (Amaral, 1968). Estas fortes chuvadas provocaram fortes caudais que não foram totalmente escoados pelas linhas de água natural nem pela rede de esgotos.

O cenário que se viveu, diz-se ter sido desolador. Além dos enormes prejuízos materiais, centenas de pessoas perderam a vida. Apesar de não se saber ao certo o número fixo de sinistrados, em parte devido à censura que se vivia então no país, julga-se que mais de 500 pessoas perderam a vida neste dia, havendo, contudo, valores ainda maiores, que apontam para cerca de 700 mortes (Rebelo, 2008). Embora toda a região da grande Lisboa e arredores tenha sentido as fortes chuvadas, foi nas zonas mais pobres e degradadas que se verificaram as situações mais trágicas, nomeadamente na Ribeira de Odivelas e nas margens do rio Trancão, em grande parte devido à falta de organização urbana e à inadequação das casas existentes, que eram maioritariamente barracas e edifícios de fraca construção.

Estudos realizadas apontam como causas desta catástrofe a destruição de matas em zonas de elevado declive, imobilização e abandono de terrenos agrícolas, multiplicação de muros e aterros



transversais às linhas de água que passaram a comportar-se como diques, cortes de estrada mal delineados e sem cobertura vegetal apropriada, canalização de certos troços das ribeiras sem condições de escoamento, construção de edifícios nas linhas de água, insuficiência e inadequação dos esgotos urbanos e, ainda, transporte de materiais originários de explorações mal protegidas. O período de retorno destas cheias foi estimado em 500 anos (Rebelo, 2008).

Em 1983 voltaram a ocorrer chuvadas com semelhante intensidade, tendo se registado a 19 de Novembro de 1983, durante 24 horas, uma precipitação de 126,6 mm na estação meteorológica da Gago Coutinho. Contudo, desta vez o número de mortos foi muito inferior, sendo apontado entre 7 a 10 óbitos. A região mais afectada foi Cascais, tendo as ribeiras lá existentes transbordado e criado elevados danos e prejuízos. Esta cheia teve um período de retorno estimado entre 100 e 200 anos (Rebelo, 2008; Meteorologia, 2008).

Mais recentemente, em 2008, a 18 de Fevereiro, voltaram a viver-se momentos complicados em certas áreas de Lisboa, devido a este mesmo fenómeno de cheias, registando-se a ocorrência de 2 mortos devido às cheias. A estação meteorológica da Gago Coutinho registou 129 mm entre as 9 horas do dia 17 e as 9 horas do dia seguinte (Rebelo, 2008).

Todos estes acontecimentos afectaram a Ribeira da Laje, havendo registos de inundações em todos eles. A cheia de 1983, em particular, motivou a classificação de determinados troços da Ribeira da Laje como zonas adjacentes.

Apesar de terem uma menor intensidade e danos, frequentemente há notícias de inundações na Ribeira da Laje, sendo normal nestes casos o corte de vias públicas, inundação de casas e danos em veículos.

## **4.11 Secções Críticas**

Na bacia hidrográfica da Ribeira da Laje identificam-se três locais no Concelho de Oeiras com especial risco de cheia, onde se verificam, normalmente, as situações mais problemáticas. Estes locais são: Talaíde, Povoação da Laje, e troço urbano entre o Largo do Marquês de Pombal e a Foz.

### **4.11.1 Talaíde**

Talaíde é uma povoação do concelho de Oeiras, que tem habitações construídas em áreas inundáveis, onde é habitual ocorrerem cheias, quando há chuvadas intensas. A população de Talaíde, além de ter uma elevada ocupação urbana, é atravessada por uma linha de água, afluente da Ribeira da Laje. Alguns troços das margens do afluente apresentam construções (Municipia, 2011).



**Figura 4.11** Troços da Ribeira da Laje, na povoação de Talaíde. Fonte: (Google, 2013)

#### 4.11.2 Povoação da Laje

A zona da Laje é um bairro de génese ilegal em Oeiras, apontada como uma das zonas com maior risco de inundação da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje, sendo frequente as notícias de inundações aquando de chuvadas relativamente intensas. Um dos principais problemas da região é a elevada taxa de ocupação urbana, bem como a falta de ordenamento urbano, e o carácter precário de várias das construções existentes (Câmara Municipal de Oeiras, 2013).



**Figura 4.12** Troços da Ribeira da Laje, na povoação da Laje. Fonte: (Google, 2013)

#### 4.11.3 Troço final: Do Largo Marquês do Pombal à Foz

No Largo do Marquês de Pombal localizam-se os principais pontos turísticos e económicos do Concelho de Oeiras: o Palácio do Marquês de Pombal, a Estação Agronómica Nacional, o Instituto Gulbenkian de Ciência e a Câmara Municipal de Oeiras.

Construído na segunda metade do século XVIII, a Quinta do Marquês de Pombal, funcionou como residência da família do Marquês de Pombal e era constituída por três quintas, ligadas entre si. Na chamada Quinta de Baixo estava situado o Palácio do Marquês de Pombal, ou Palácio dos Condes de Oeiras, os jardins e as adegas; na Quinta de Cima encontravam-se, as casas de pesca e a Cascata dos Gigantes e na Quinta do Marco existiam terrenos agrícolas de produção de vinhas, árvores de frutos e olivais. No século XX a Quinta do Marquês foi vendida, e a Quinta de Baixo foi comprada pela Fundação Calouste Gulbenkian e a Quinta de Cima foi comprada pelo estado que mais tarde lá instalou a Estação Agronómica Nacional. O Palácio do Marquês de Pombal é actualmente utilizado para serviços de administração da Câmara Municipal de Oeiras (Palácio do Marquês de Pombal Conde de Oeiras, 2013; Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, 2006).

Os jardins e monumentos existentes na Quinta do Marquês de Pombal são hoje classificados como Monumentos Nacionais, e estão classificados como edifício sensível, no caso do Palácio do Marquês de Pombal, ou de interesse económico, nomeadamente a Estação Agronómica Nacional e os Jardins do Palácio do Marquês, de acordo com (Câmara Municipal de Oeiras, 2010).

Esta zona tem elevado risco de inundação, sendo habitual situações de cheias para fortes chuvadas.



**Figura 4.13** Troços da Ribeira da Laje na Quinta do Marquês do Pombal. a) Situação de normalidade. Fonte: (Ribeiras Oeiras). b) Cheias de 1996; c) Cheias de 2008. Fonte: (Municipia, 2011)

A Ribeira da Laje desagua na praia de Santo Amaro e a combinação de fortes chuvadas com a acção do mar tornam a foz da Ribeira da Laje um local propício para inundações. Também é relevante considerar a elevada ocupação urbana desta zona da bacia hidrográfica, onde existem muitas habitações, postos de trabalho e vias de transporte, onde as inundações podem provocar fortes danos para a população.



**Figura 4.14 Cheias de 2008, no troço final da Ribeira da Laje. Fonte: (Municipia, 2011)**

## 5 Caracterização do regime de cheias

Neste capítulo é apresentado o modelo construído da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje, e as simulações realizadas para vários períodos de retorno ( $T=2, 10, 50, 100$  e  $500$  anos), para vários cenários de ocupação do território.

Destas simulações apresentam-se os caudais e tempos de ponta das zonas consideradas críticas.

### 5.1 Introdução

Um modelo é uma representação conceptual de determinado processo, que de forma mais ou menos exacta permite quantificar as grandezas envolvidas.

Um modelo hidrológico pode ser classificado, de acordo com as suas características, como representado na seguinte imagem:

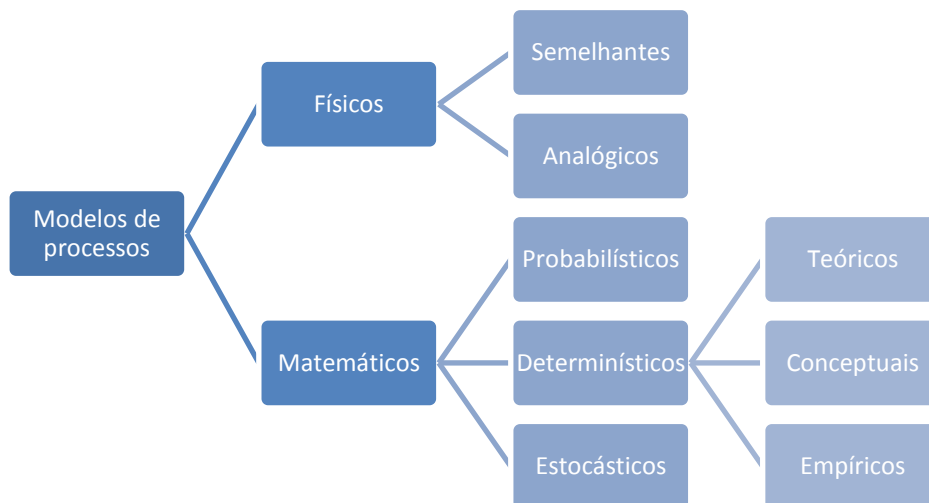


Figura 5.1 Classificação de modelos de processos hidrológicos. Adaptado: (Hipólito & Vaz, 2011)

Um modelo pode classificar-se como físico ou matemático. Um modelo físico utiliza medições e manipulações de grandezas físicas para obter as suas grandezas desejadas. Os modelos físicos podem, ainda, ser semelhantes ou analógicos. Considera-se um modelo físico semelhante quando se trata de uma reprodução física do processo em escala diferente e modelo físico analógico quando o processo utilizado e o que se pretende modelar são diferentes mas relacionáveis por modelos matemáticos.

Por sua vez, em vez de medições ou manipulações de qualquer grandeza física, os modelos matemáticos utilizam exclusivamente métodos de matemática para obter as grandezas desejadas. Os modelos matemáticos podem classificar-se como probabilísticos, determinísticos ou estocásticos.

Um modelo matemático diz-se probabilístico quando os seus processos são analisados apenas de acordo com distribuições estatísticas, sem relações de causalidade. De forma contrária, os modelos são determinísticos se as relações matemáticas utilizadas representarem apenas relações de causa-efeito, sem considerarem análises probabilísticas das mesmas. Se um modelo matemático considerar tanto as relações causa-efeito como as aleatórias é considerado estocástico.

Se for determinístico, o modelo pode ainda ser dividido em três categorias. Se a sua construção for baseada exclusivamente em leis da física o modelo matemático considera-se determinístico teórico. Classifica-se como modelo matemático determinístico empírico se não se basear em leis da física, podendo, no entanto, socorrer-se de teorias de outras áreas científicas. Se na sua construção forem utilizados princípios teóricos e empíricos, o modelo é considerado conceptual (Hipólito & Vaz, 2011).

Neste trabalho simulou-se a ocorrência de cheias na bacia hidrográfica da Ribeira da Laje, com recurso ao modelo matemático determinístico HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System), tendo sido considerado um conjunto de factores relevantes para caracterizar as cheias, que se explicam neste capítulo.

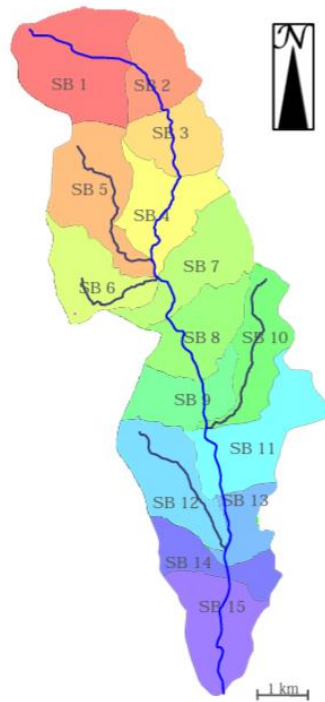
Foi utilizada a versão 3.5 do programa. Este programa tem como função simular o fenómeno de precipitação e escoamento em bacias hidrográficas ramificadas. A sua utilização pode ser útil em diversos estudos, desde a disponibilidade de água de uma bacia hidrográfica, impacte de futuras urbanizações, redução do risco de cheias, como se pretende com este trabalho, entre outros.

Para realizar estas simulações, é obrigatório construir três componentes do modelo: o modelo da bacia hidrográfica, o modelo meteorológico e especificações de controle. O modelo calcula a resposta da bacia hidrográfica às condições do modelo meteorológico, com base nas relações precipitação-escoamento, num período de tempo e em intervalos definidos nas especificações de controle (William A. Scharffenberg, 2010).

## **5.2 Modelo da bacia hidrográfica**

Esta componente do modelo constitui a representação das características da bacia hidrográfica em estudo, relevantes para a análise das relações precipitação-escoamento.

Para a construção do modelo, a bacia hidrográfica foi dividida em 15 sub-bacias, com áreas da mesma ordem de grandeza, tendo em consideração o curso de água principal e os seus afluentes. Na Figura 4.2 apresenta-se a divisão da bacia hidrográfica nas várias sub-bacias.



**Figura 5.2 Sub-bacias e cursos de água considerados no modelo. Legenda: SB- Sub-Bacia**

Para o cálculo do tempo de concentração foram utilizadas as expressões propostas pelos métodos SCS, Kirpich e Témez, tendo-se optado por utilizar a fórmula de Témez, por ser aquela que obteve valores inferiores. Desta forma, os tempos de concentração foram obtidos pela expressão:

$$t_c = 1,115 \frac{L^{0,95}}{\Delta H^{0,19}} \quad 5.1$$

Onde:

- $t_c$  - Tempo de concentração da bacia hidrográfica (h);
- $L$  - Desenvolvimento do curso de água principal (km);
- $\Delta H$  - Diferença máxima de cotas no curso de água principal (m).

O tempo de lag foi obtido pela relação:

$$t_l = 0,366t_c \quad 5.2$$




Na tabela 4.1 apresentam-se as características de cada sub-bacia hidrográfica:

**Tabela 5.1 Características das sub-bacias hidrográficas**

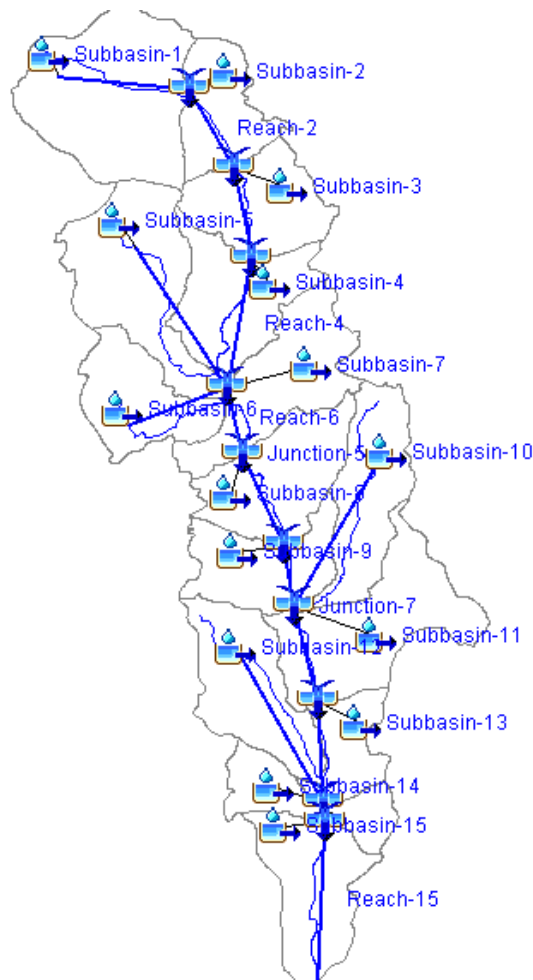
Sub-Bacia	Área real (km <sup>2</sup> )	Comprimento curso de água (km)	Tempo de lag (min)	Tempo de concentração(min)
1	4,48	2,28	27,75	75,82
2	2,15	1,29	16,55	45,22
3	2,15	1,48	20,30	55,46
4	2,71	2,01	26,23	71,68
5	3,56	3,57	35,81	97,83
6	2,51	2,19	25,38	69,34
7	2,99	1,05	17,24	47,11
8	2,52	1,54	23,03	62,92
9	2,13	0,83	13,28	36,27
10	2,55	3,84	33,92	92,67
11	3,42	1,49	21,35	58,35
12	3,07	3,19	30,82	84,20
13	1,28	1,47	20,04	54,75
14	1,63	0,26	6,04	16,51
15	2,96	2,46	34,39	93,95

Para a construção do modelo da bacia da Ribeira da Laje foram considerados os seguintes elementos:

**Tabela 5.2 Elementos utilizados no modelo da bacia. Adaptado: (United States Army Corps of Engineering, 2010)**

Elemento	Representação	Descrição
Sub-bacia		Utilizado para representar fisicamente um segmento da bacia hidrográfica. Dado um valor de precipitação total, é calculado o escoamento na secção de jusante do segmento de bacia hidrográfica, por transformação do excesso de precipitação (igual à precipitação total subtraída das perdas da precipitação) e adicionando o escoamento base.
Confluência		Utilizado para combinar os escoamentos dos elementos hidrológicos localizados a montante da confluência. O escoamento que entra no elemento de confluência pode resultar de um ou mais elementos do tipo sub-bacia ou canal, e o escoamento que sai resulta da combinação de todos os escoamentos que entram.
Canal		Utilizado para representar o escoamento num troço do leito fluvial. O escoamento que entra no elemento pode resultar de um ou mais elementos.





**Figura 5.3 Modelo da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje**

Na construção do modelo da sub-bacia foram considerados os seguintes métodos de cálculo:

- Método de perdas - Método que quantifica as perdas por infiltração na bacia hidrográfica.
- Método de transformação - Método que calcula o escoamento superficial na bacia hidrográfica.

Além dos métodos considerados, o modelo HEC-HMS permite quantificar a interceptação da precipitação pelo coberto florestal da bacia hidrográfica e o escoamento subterrâneo. No caso em estudo, devido às características dos usos dos solos da bacia hidrográfica e para simplificação do modelo, a quantificação destas componentes não foi considerada.

### 5.2.1 Método de perdas

O método de perdas incluído no modelo de caracterização da bacia hidrográfica tem como função o cálculo da infiltração que ocorre durante a chuvada, respeitando o princípio da conservação

da massa, isto é, a soma quantidade de água que se infiltra e da quantidade de água que permanece à superfície é igual ao valor da água precipitada (Engineers U. A., 2010) .

O método escolhido para este trabalho foi o Método de Perdas do número SCS. Através deste método o programa calcula o excesso de precipitação em função da precipitação cumulativa, da cobertura do solo, do uso do solo e da quantidade inicial de água no solo, através da expressão:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \text{ se } P > I_a \quad 5.3$$

$$P_e = 0 \text{ se } P < I_a \quad 5.4$$

Onde:

- $P_e$  - Excesso de precipitação acumulada, no instante t (mm);
- $P$  - Precipitação total acumulada, no instante t (mm);
- $I_a$  - Altura de perdas iniciais(mm);
- $S$  - Capacidade máxima de retenção da bacia hidrográfica segundo o SCS.

A altura das perdas iniciais,  $I_a$ , devidas à intercepção, retenção e infiltração, é calculada pela relação:

$$I_a = 0,2S \quad 5.5$$

Sendo  $S$  obtido através do número de escoamento  $CN$ :

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad 5.6$$

São dados requeridos pelo modelo a altura das as perdas iniciais, o método pede  $I_a$ , onúmero de escoamento e a percentagem de impermeabilização do solo.

### 5.2.2 Método de Transformação

A aplicação do método de transformação tem como finalidade simular a transformação do excesso de precipitação em escoamento superficial. Para isso, vários métodos estão disponíveis, tendo sido escolhido, para este trabalho, o Hidrograma Unitário SCS.

Este modelo permite calcular o caudal de ponta de cheia em função da área da bacia hidrográfica e do tempo em que se atinge o caudal de ponta de cheias, através da expressão:

$$Q_p = 2,08 \frac{A}{T_p} \quad 5.7$$

Onde:

- $Q_p$  - Caudal de ponta de cheias ( $m^3/s$ );
- $A$  - Área da bacia hidrográfica ( $km^2$ );
- $T_p$  - Intervalo de tempo entre o início do hidrograma de cheias e o instante em que ocorre o caudal de ponta (h).

$T_p$ , é obtido pela relação:

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag} \quad 5.8$$

Onde:

- $\Delta t$  - Duração do hidrograma de precipitação (h);
- $t_{lag}$  - Intervalo de tempo entre o instante central da chuvada e o instante em que ocorre o caudal de ponta de cheia (h).
- O valor de  $t_{lag}$  em minutos é um dado do modelo. Pode-se seleccionar o Hidrograma Unitário do SCS *Standard* ou *Delmarva*, sendo este último um hidrograma unitário desenvolvido para Delmarva, uma região costeira dos Estados Unidos da América. Adoptou-se o hidrograma unitário *Standard*.

### 5.2.3 Método de Propagação de Cheias

O método de propagação de cheias tem como objectivo simular o comportamento do hidrograma de cheias ao longo de um troço do rio, considerando as suas alterações de caudal e velocidade. Assim, o que se pretende é obter um novo hidrograma, tendo em conta o hidrograma a montante do troço. Existem vários modelos disponíveis para estudar a propagação de cheias, mas todos eles se baseiam na resolução das equações da continuidade da massa e da quantidade de movimento.

As equações da quantidade de movimento representam a relação das forças que actuam na massa de água, tais como a gravidade, a pressão e o atrito de forma a respeitar a conservação da quantidade de movimento, através da expressão:

$$S_f = S_o - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad 5.9$$

Onde:

- $S_f$  - Gradiente de energia;
- $S_o$  - Declive do fundo do leito;
- $V$  - Velocidade média do escoamento;
- $y$  - Profundidade hidráulica;
- $x$  - Distância medida ao longo do eixo longitudinal do escoamento;
- $t$  - Tempo;
- $g$  - Aceleração da gravidade;
- $\frac{\partial y}{\partial x}$  - Gradiente de pressão;
- $\frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x}$  - Aceleração convectiva;
- $\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$  - Aceleração local.

A equação da continuidade da massa, por sua vez, exprime o equilíbrio entre o volume de água que entra numa secção transversal de um troço elementar de um canal aberto, o volume de água que sai do mesmo troço elementar e o volume armazenado nesse troço. Para um escoamento a uma dimensão, esta pode ser escrita como:

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + VB \frac{\partial y}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = q \quad \mathbf{5.10}$$

Onde:

- $B$  - Largura da superfície livre do escoamento;
- $q$  - Afluência lateral por unidade de comprimento do canal;
- $A \frac{\partial V}{\partial x}$  - Armazenamento prismático;
- $VB \frac{\partial y}{\partial x}$  - Armazenamento em cunha;
- $B \frac{\partial y}{\partial t}$  - Taxa de aumento do volume no troço elementar.

Para a resolução destas equações existem vários métodos, sendo que, de entre os disponibilizados pelo programa, aquele que se considerou para este trabalho foi o Método de Muskingum.

Este método considera uma aproximação discreta finita da equação da continuidade:

$$\left( \frac{I_{t-1} + I_t}{2} \right) - \left( \frac{O_{t-1} + O_t}{2} \right) = \left( \frac{S_t - S_{t-1}}{\Delta t} \right) \quad \mathbf{5.11}$$

Onde:

- $I_{t-i}$  - Ordenadas do hidrograma de entrada, no instante  $t - i$  ( $i = 0, 1$ );
- $O_{t-i}$  - Ordenadas do hidrograma de saída, no instante  $t - i$  ( $i = 0, 1$ );
- $S_{t-i}$  - Armazenamento no canal, no instante  $t - i$  ( $i = 0, 1$ );

O armazenamento ao longo do troço é modelado como a soma do armazenamento prismático e do armazenamento em cunha, sendo o armazenamento prismático a superfície livre em regime permanente e o armazenamento em cunha correspondente ao volume armazenado entre o armazenamento prismático e a superfície livre em situação de cheia.

O armazenamento no modelo de Muskingum é considerado:

$$S_t = KO_t + KX(I_t - O_t) = K[XI_t + (1 - X)O_t] \quad 5.12$$

Onde:

- $K$  - tempo de deslocação da onda de cheia através do canal;
- $X$  - Constante adimensional ( $0 \leq X \leq 0,5$ ).

Da resolução de um sistema com as duas equações anteriores obtém-se a seguinte equação:

$$O_t = \left( \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1 - X) + \Delta t} \right) I_t + \left( \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1 - X) + \Delta t} \right) I_{t-1} + \left( \frac{2K(1 - X) - \Delta t}{2K(1 - X) + \Delta t} \right) O_{t-1} \quad 5.13$$

São dados do programa os valores dos parâmetros  $K$  e  $X$ .

O parâmetro  $K$  representa o tempo de percurso da onda de cheia ao longo do canal. Este tempo pode ser obtido através da velocidade da onda de cheia:

$$K = \frac{L}{V} \quad 5.14$$

Onde:

- $L$  - Comprimento do troço;
- $V$  - Velocidade da onda de cheia.

A velocidade considerada foi de 1,3 m/s, sendo esta a velocidade central do intervalo considerado para escoamentos não canalizados em terrenos urbanizados com declive entre 0 e 3%, de acordo com (Chow, Maidment, & Mays, 1988).

O parâmetro  $X$  aparece como um factor de ponderação que introduz o efeito de amortecimento da onda durante a propagação no canal. Tem um valor variável entre 0 e 0,5, no entanto os valores normalmente adoptados estão entre 0,1 e 0,3. Assim, assumiu-se um valor médio, de 0,2.

De forma a assegurar a estabilidade do método, há que respeitar:  $\frac{1}{2(1-X)} \leq \frac{K}{\Delta t} \leq \frac{1}{2X}$

Na tabela seguinte apresentam-se os valores utilizados no método de Muskingum, para os 15 canais considerados:

**Tabela 5.3 Parâmetros utilizados no método de Muskingum**

Canal	Comprimento (m)	K(h)	n
1	2282	0,49	12
2	1289	0,2786	7
3	1479	0,32	8
4	2013	0,43	10
5	3566	0,76	19
6	2193	0,47	12
7	1048	0,22	6
8	1541	0,33	8
9	832	0,18	5
10	3839	0,82	20
11	1488	0,32	8
12	3187	0,68	17
13	1474	0,32	8
14	263	0,06	2
15	2457	0,52	13

O número de *sub-canaís* ( $n$ ) foi obtido por tentativa e erro, de forma a obter estabilidade necessária.

### 5.3 Modelo meteorológico

O modelo meteorológico é uma das componentes fundamentais para a simulação de qualquer fenómeno hidrológico. No HEC-HMS são consideradas três componentes: precipitação, evaporação e degelo.

Não sendo uma região onde ocorra queda de neve, o degelo é considerado inexistente. Também a evapotranspiração é desprezada, uma vez que não existem contribuições significativas deste fenómeno devido ao curto intervalo de tempo em que as cheias ocorrem.

Desta forma, o único fenómeno meteorológico considerado é a precipitação. É adoptado como método de precipitação o hietograma específico, tendo-se utilizado um hietograma igual para todas as sub-bacias, para os períodos de retorno de 2, 10, 50, 100 e 500 anos.

Para a construção dos hietogramas aplicaram-se as expressões de IDF (intensidade-duração-frequência) propostas por Cláudia Brandão em 1995 (Pereira, 1995), para os períodos de retorno de 2 e 10 anos para a região de Lisboa, e as expressões apresentadas no estudo Precipitações Intensas em Portugal Continental para períodos de retorno até 1000 anos (Cláudia Brandão, 1998), para a estação udográfica Lisboa (IGIDL), para os períodos de retorno de 50, 100 e 500 anos.

Tabela 5.4 Expressões IDF

Período de retorno	Expressão IDF
<b>T = 2 anos</b>	$I = 221 \times t^{-0.607}$
<b>T = 10 anos</b>	$I = 386 \times t^{-0.627}$
<b>T = 50 anos</b>	$I = 412,14 \times t^{-0.595}$
<b>T = 100 anos</b>	$I = 451,14 \times t^{-0.594}$
<b>T = 500 anos</b>	$I = 541,23 \times t^{-0.592}$

A título de curiosidade, e para verificar a sua adequabilidade, comparou-se as curvas já apresentadas com as utilizadas nos dois estudos anteriores, realizados para a mesma bacia hidrográfica. Na Figura 4.4 apresentam-se as curvas para o período de retorno de 100 anos:

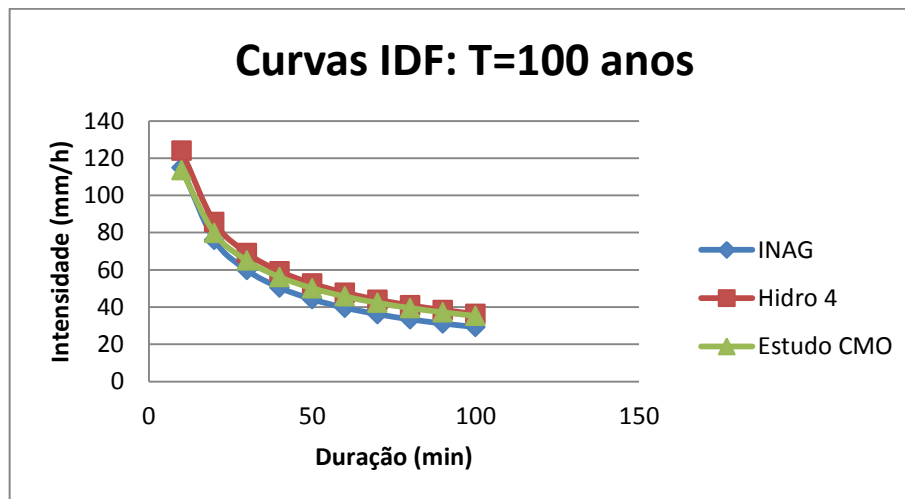


Figura 5.4 Comparação entre as curvas IDF obtidas pelas expressões de: (Cláudia Brandão, 1998)(Hido 4 e (Municipia, 2011))

Para fazer corresponder a precipitação à bacia hidrográfica, criou-se um posto udométrico fictício, ao qual se associou o hietograma de projecto com peso de 100%, isto é, este seria o único posto a contribuir para o valor da precipitação. No fim, juntamente com o que foi definido no modelo da bacia, destes dados o modelo gerou um hidrograma de cheias para cada sub-bacia, confluência e canal, sendo que os de maior interesse para este estudo são os hidrograma de cheias para os troços da bacia hidrográfica onde se inserem as zonas críticas já identificadas.

Para a obtenção dos hietogramas de projecto seguiram-se os seguintes passos:

- I. Cálculo da intensidade de precipitação (mm/h), através das expressões IDF, utilizando uma duração de aproximadamente 6h, valor este que se obteve pelo método de Témez, pela fórmula 4.1, aplicada à área da bacia hidrográfica total.
- II. Cálculo da precipitação acumulada de projecto (mm), pela expressão:

$$P_i' = I_i \times t_i \quad \mathbf{5.15}$$

Onde:

- $P_i'$  - Precipitação acumulada, no instante  $i$  (mm);
- $I_i$  - Intensidade de precipitação, no instante  $i$  (mm/h);
- $t_i$  - Instante  $i$  (h). Tendo-se considerado um  $t_c$  de 6 horas, calculou-se a precipitação para 6 instantes ( $i=1, 2, 3, 4, 5$  e 6 horas);

- III. Desconto da precipitação acumulada, pela equação:

$$P_i = P_i' - P_{i-1}' \quad \mathbf{5.16}$$

Onde:

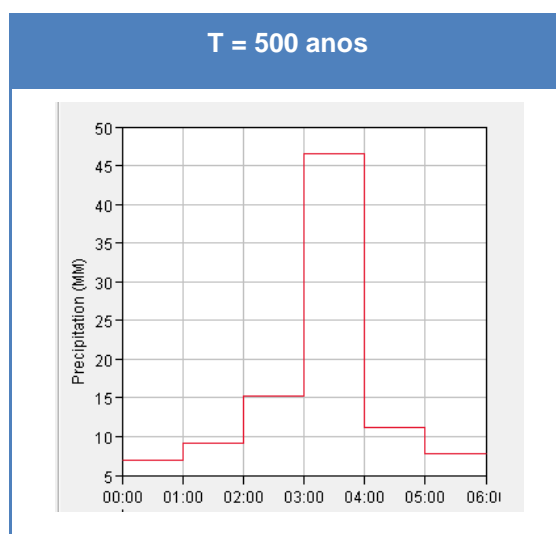
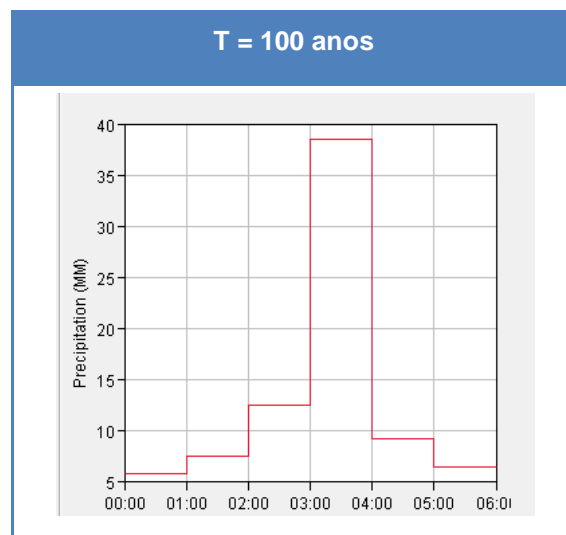
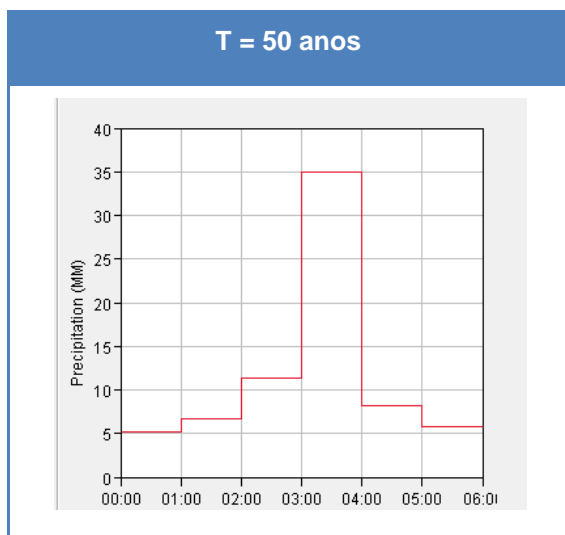
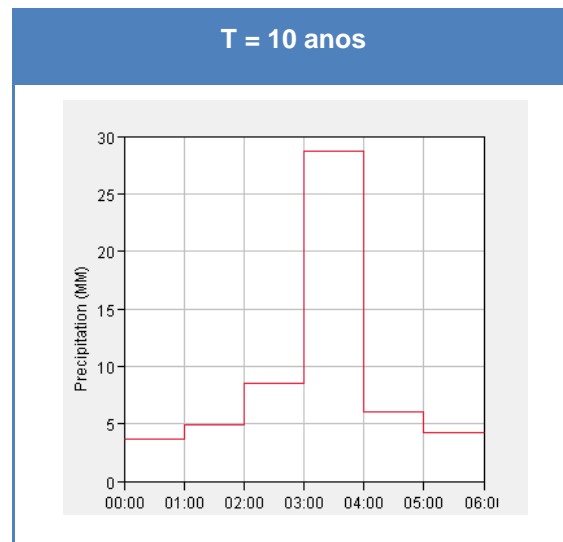
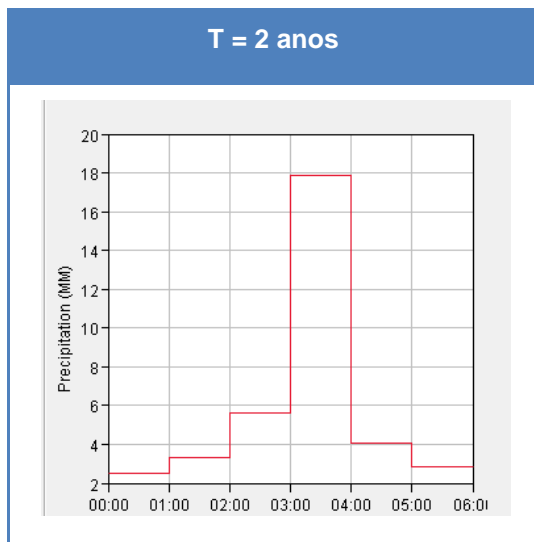
- $P_i$  - Precipitação útil, no instante  $i$  (mm);
- $P_i'$  - Precipitação acumulada, no instante  $i$  (mm);
- $P_{i-1}'$  - Precipitação acumulada, no instante  $i - 1$  (mm).

- IV. Organização da precipitação em blocos alternados.

Como estamos a considerar a precipitação medida num ponto específico, e não numa área, aplicámos um factor de redução da precipitação, que para a área da bacia hidrográfica da ribeira da Laje foi de 0,97, de acordo com as curvas de ajustamento (Dallas, 2007).

Os hietogramas de projecto obtidos para os vários períodos de retorno foram:





**Figura 5.5** Hietogramas de precipitação, para T=2, 10, 50, 100 e 500 anos

## 5.4 Resultados das simulações

### 5.4.1 Simulação I

Inicialmente caracterizou-se a situação base, com uma impermeabilização estimada para cada sub-bacia, pela carta 1:25000. Estes valores de impermeabilização foram estimados apenas por observação.

**Tabela 5.5 Impermeabilização das sub-bacias (%)**

Sub-bacia	Impermeabilização (%)
1	45
2	40
3	50
4	25
5	7
6	10
7	10
8	5
9	10
10	7
11	30
12	35
13	15
14	35
15	70
<b>Média total</b>	<b>23,33</b>

Foram, também, consideradas dois cenários de humidade do solo diferentes: condições médias antecedentes de humidade do solo (AMCII) e condições elevadas antecedentes de humidade do solo(AMCIII). Estes dois cenários diferentes foram simulados através do número de escoamento. Para AMCII considerou-se NC de 87, e para AMCIII considerou-se NC de 94. Este último valor foi estimado pela expressão:

$$NC (III) = \frac{23NC(II)}{10 + 0,13NC(II)} \quad 5.17$$

**Tabela 5.6 Resultados da Simulação 1 (Q<sub>p</sub>- caudal de ponta; T<sub>p</sub>- tempo de ponta)**

		Confluência 7		Confluência 9		Troço final	
		Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)	T <sub>p</sub> (h)	Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)	T <sub>p</sub> (h)	Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)	T <sub>p</sub> (h)
<b>AMC II</b>	T= 2 anos	44,9	5,80	46,6	6,68	47,3	7,18
	T= 10 anos	87,6	5,60	91,1	6,57	92,6	7,07
	T= 50 anos	121,7	5,52	127,2	6,48	129,8	6,98
	T= 100 anos	138,3	5,47	144,4	6,47	147,4	6,97
	T= 500 anos	177,5	5,40	185,1	6,42	189,0	6,92
<b>AMC III</b>	T= 2 anos	64,5	5,45	67,2	6,45	68,6	6,95
	T= 10 anos	113,4	5,35	117,4	6,37	119,6	6,90
	T= 50 anos	149,2	5,32	154,9	6,33	158,3	6,83
	T= 100 anos	166,4	5,32	172,7	6,32	176,6	6,82
	T= 500 anos	206,2	5,30	214,0	6,13	218,8	6,80

Ao analisarmos estes resultados interessa considerar que o escoamento se dá no sentido da confluência 7 para o troço final, havendo, desta forma, um aumento dos caudais e tempos de ponta no sentido de montante para jusante.

Assim, como seria de esperar, podemos verificar que para maiores períodos de retorno, isto é maiores intensidades de precipitação, os caudais e os tempos de ponta também são superiores. Os valores intensificam-se para condições antecedentes de humidade do solo mais elevadas. Isto acontece pois, se no momento da chuvada os solos já apresentarem um teor de humidade elevado, atingem mais rapidamente o ponto de saturação, havendo, portanto, um menor volume de água infiltrada e, consequentemente, um maior volume de água escoada à superfície.

#### 5.4.2 Simulação II

Numa segunda fase de simulações pretendeu-se estudar como a alteração da taxa de impermeabilização do solo iria afectar a resposta da bacia hidrográfica à precipitação, nomeadamente com alterações de caudal de ponta e tempos de concentração. Assim, fez-se um conjunto de simulações, para os períodos de retorno considerados, onde se alteraram as impermeabilizações de cada sub-bacia. O aumento das impermeabilizações foi feito de forma a que as sub-bacias com maior taxa de urbanização inicial fossem aquelas que mais rapidamente aumentariam a sua área impermeabilizada, uma vez que a tendência será de os núcleos urbanos já existentes aumentarem mais a sua ocupação urbana ao invés de aglomerados menores se desenvolverem de raiz.

Na tabela seguinte apresentam-se as impermeabilizações consideradas para cada sub-bacia, para as várias simulações realizadas:

**Tabela 5.7 Impermeabilizações simuladas para cada sub-bacia**

Impermeabi- lização Total (%)	28,33	33,33	38,33	43,33	48,33	53,33	58,33	63,33	68,33	77,33
<b>SB 1</b>	54,64	64,29	73,93	85,71	96,43	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>SB 2</b>	42,50	50,00	57,50	67,14	75,71	84,84	96,08	100,00	100,00	100,00
<b>SB 3</b>	48,57	67,14	65,71	76,43	86,07	96,26	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>SB 4</b>	24,29	28,57	32,86	39,29	44,64	50,55	57,17	66,03	76,51	87,32
<b>SB 5</b>	9,11	10,71	12,32	16,07	18,75	21,98	25,92	32,10	39,90	48,04
<b>SB 6</b>	6,07	7,14	8,21	11,43	13,57	16,26	19,67	25,32	32,58	40,18
<b>SB 7</b>	6,07	7,14	8,21	11,43	13,57	16,26	19,67	25,32	32,58	40,8
<b>SB 8</b>	3,04	3,57	4,11	6,79	8,39	10,55	13,42	18,53	25,26	32,32
<b>SB 9</b>	12,14	14,29	16,43	20,71	23,93	27,69	32,17	38,89	47,22	55,89
<b>SB 10</b>	6,07	7,14	8,21	11,43	13,57	16,26	19,67	25,32	32,58	40,18
<b>SB 11</b>	30,36	35,71	41,07	48,57	55,00	61,98	69,67	79,60	91,15	100,00
<b>SB 12</b>	42,50	50,00	57,50	67,14	75,71	84,84	94,67	100,00	100,00	100,00
<b>SB 13</b>	12,14	14,29	16,43	20,71	23,93	27,69	32,17	38,89	47,22	55,89
<b>SB 14</b>	42,50	50,00	57,00	67,14	75,71	84,84	94,67	100,00	100,00	100,00
<b>SB 15</b>	85,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Estes valores foram obtidos considerando um crescimento de 5% de impermeabilização média da bacia hidrográfica total em cada simulação.

Os caudais e os tempos de ponta obtidos nas várias simulações realizadas, para a confluência 7 apresentam-se na tabela seguinte:

**Tabela 5.8 Caudais de ponta e tempos de ponta obtidos para a confluência 7**

Imp. (%)	Confluência 7										
	23,33	28,33	33,33	38,33	43,33	48,33	53,33	58,33	63,33	68,33	73,33
<b>T=2 anos, AMCII</b>											
<b>Q<sub>p</sub>(m<sup>3</sup>/s)</b>	44,90	47,20	49,40	52,10	54,80	57,60	59,90	61,90	63,90	66,20	68,70
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	5,80	5,80	5,78	5,77	5,77	5,75	5,72	5,67	5,62	5,55	5,48
<b>T=10 anos, AMCII</b>											
<b>Q<sub>p</sub>(m<sup>3</sup>/s)</b>	87,60	90,20	92,80	95,90	99,10	102,30	105,00	107,40	109,80	112,60	115,50
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	5,65	5,65	5,63	5,62	5,60	5,57	5,53	5,50	5,47	5,43	5,40
<b>T = 50 anos, AMC II</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	121,70	124,40	127,00	130,20	133,40	136,60	139,40	141,70	144,10	146,90	149,70
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	5,52	5,50	5,48	5,47	5,45	5,45	5,43	5,42	5,40	5,37	5,35
<b>T = 100 anos, AMC II</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	138,30	141,00	143,60	146,90	150,10	153,30	156,10	158,40	160,80	163,60	166,50
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	5,47	5,45	5,45	5,43	5,42	5,42	5,40	5,40	5,38	5,37	5,35
<b>T = 500 anos, AMC II</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	177,50	180,20	182,80	186,10	189,30	192,60	195,30	197,60	200,00	202,70	205,50
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	5,40	5,40	5,38	5,38	5,38	5,37	5,37	5,37	5,35	5,33	5,32
<b>T=2 anos, AMCIII</b>											
<b>Q<sub>p</sub>(m<sup>3</sup>/s)</b>	64,50	65,70	66,80	68,20	69,70	71,10	72,30	73,30	74,30	75,50	76,80
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	5,45	5,43	5,43	5,42	5,42	5,40	5,40	5,38	5,37	5,35	5,33
<b>T=10 anos, AMCIII</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	113,40	114,60	115,80	117,20	118,60	120,00	121,20	122,20	123,20	124,40	125,50
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	5,35	5,35	5,35	5,35	5,35	5,33	5,33	5,33	5,33	5,32	5,32
<b>T = 50 anos, AMC III</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	149,20	150,30	151,40	152,70	154,00	155,20	156,30	157,20	158,10	159,10	160,10
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32	5,30	5,30	5,30	5,30	5,28
<b>T = 100 anos, AMC III</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	166,40	167,40	168,50	169,70	171,00	172,30	173,30	174,10	175,00	176,00	177,00
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	5,32	5,32	5,32	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,28	5,28
<b>T = 500 anos, AMC III</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	206,20	207,20	208,20	209,40	210,60	211,80	212,70	213,50	214,20	215,10	216,00
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28

### 5.9 Caudais de ponta e tempos de ponta obtidos para a confluência 9

Confluência 9											
Imp. (%)	23,33	28,33	33,33	38,33	43,33	48,33	53,33	58,33	63,33	68,33	73,33
<b>T=2 anos, AMCII</b>											
<b>Q<sub>p</sub>(m<sup>3</sup>/s)</b>	46,60	48,90	51,20	54,10	56,90	59,70	62,10	64,30	66,40	68,90	71,40
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,68	6,68	6,67	6,67	6,65	6,63	6,62	6,58	6,55	6,52	6,47
<b>T=10 anos, AMCII</b>											
<b>Q<sub>p</sub>(m<sup>3</sup>/s)</b>	91,10	93,80	96,40	99,60	102,90	106,10	108,90	111,40	113,80	116,60	119,50
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,57	6,55	6,55	6,55	6,53	6,53	6,52	6,50	6,47	6,43	6,42
<b>T = 50 anos, AMC II</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	127,20	129,90	132,50	135,80	139,00	142,20	145,00	147,40	149,80	152,60	155,50
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,48	6,48	6,48	6,47	6,47	6,45	6,43	6,43	6,42	6,38	6,37
<b>T = 100 anos, AMC II</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	144,40	147,20	149,80	153,10	156,30	159,60	162,40	164,80	167,20	169,90	172,80
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,47	6,45	6,45	6,45	6,43	6,43	6,42	6,42	6,40	6,37	6,35
<b>T = 500 anos, AMC II</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	185,10	187,80	190,40	193,70	197,00	200,20	203,00	205,30	207,70	210,40	213,20
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,42	6,42	6,42	6,40	6,40	6,38	6,38	6,38	6,37	6,35	6,33
<b>T=2 anos, AMCIII</b>											
<b>Q<sub>p</sub>(m<sup>3</sup>/s)</b>	67,20	68,40	69,60	71,00	72,40	73,80	75,00	76,00	77,10	78,30	79,50
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,45	6,45	6,45	6,43	6,43	6,43	6,42	6,40	6,38	6,37	6,35
<b>T=10 anos, AMCIII</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	117,40	118,60	119,80	121,20	122,60	124,10	125,20	126,20	127,20	128,40	129,60
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,37	6,37	6,37	6,37	6,37	6,35	6,35	6,35	6,33	6,32	6,32
<b>T = 50 anos, AMC III</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	154,90	156,00	157,10	158,40	159,70	161,00	162,10	162,90	163,80	164,90	165,90
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,33	6,33	6,32	6,32	6,32	6,32	6,30	6,30	6,30	6,28	6,27
<b>T = 100 anos, AMC III</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	172,70	173,80	174,80	176,10	177,40	178,60	179,70	180,50	181,40	182,40	183,40
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,32	6,32	6,32	6,30	6,30	6,30	6,30	6,28	6,28	6,27	6,27
<b>T = 500 anos, AMC III</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	214,00	215,00	216,00	217,20	218,40	219,60	220,50	221,30	222,10	223,00	223,90
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,30	6,30	6,28	6,28	6,28	6,28	6,27	6,27	6,27	6,25	6,25

**Tabela 5.10 Caudais de ponta e tempos de ponta obtidos para o troço final**

Imp. (%)	Troço final										
	23,33	28,33	33,33	38,33	43,33	48,33	53,33	58,33	63,33	68,33	73,33
<b>T=2 anos, AMCII</b>											
<b>Q<sub>p</sub>(m<sup>3</sup>/s)</b>	47,30	49,70	52,10	54,90	57,70	60,50	63,00	65,20	67,50	70,00	72,70
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	7,18	7,17	7,17	7,15	7,15	7,15	7,12	7,10	7,07	7,03	6,98
<b>T=10 anos, AMCII</b>											
<b>Q<sub>p</sub>(m<sup>3</sup>/s)</b>	92,60	95,40	98,10	101,30	104,60	107,80	110,70	113,10	115,60	118,50	121,50
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	7,07	7,05	7,05	7,05	7,05	7,03	7,03	7,02	7,00	6,97	6,93
<b>T = 50 anos, AMC II</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	129,80	132,50	135,30	138,50	141,80	145,00	147,90	150,30	152,80	155,70	158,70
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,98	6,98	6,98	6,97	6,97	6,97	6,95	6,95	6,93	6,90	6,88
<b>T = 100 anos, AMC II</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	147,40	150,20	153,00	156,30	159,50	162,80	165,60	168,00	170,60	173,40	176,40
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,97	6,97	6,95	6,95	6,95	6,93	6,93	6,92	6,90	6,88	6,87
<b>T = 500 anos, AMC II</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	189,00	191,80	194,60	197,80	201,10	204,40	207,20	209,60	212,10	214,90	217,80
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,92	6,92	6,92	6,92	6,90	6,90	6,90	6,88	6,87	6,85	6,83
<b>T=2 anos, AMCIII</b>											
<b>Q<sub>p</sub>(m<sup>3</sup>/s)</b>	68,60	69,80	71,00	72,40	73,80	75,20	76,50	77,50	78,60	79,80	81,10
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,95	6,95	6,95	6,95	6,93	6,93	6,93	6,92	6,90	6,88	6,87
<b>T=10 anos, AMCIII</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	119,60	120,80	122,00	123,50	124,90	126,30	127,60	128,60	129,60	130,80	132,00
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,90	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,87	6,87	6,85	6,85	6,83
<b>T = 50 anos, AMC III</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	158,30	159,40	160,60	161,90	163,20	164,50	165,60	166,50	167,50	168,50	169,60
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,83	6,83	6,83	6,83	6,82	6,82	6,82	6,82	6,80	6,80	6,78
<b>T = 100 anos, AMC III</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	176,60	177,60	178,70	180,00	181,30	182,60	183,70	184,50	185,40	186,50	187,50
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,82	6,82	6,82	6,82	6,82	6,80	6,80	6,80	6,78	6,78	6,77
<b>T = 500 anos, AMC III</b>											
<b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b>	218,80	219,90	220,90	222,10	223,30	224,60	225,60	226,40	227,20	228,10	229,10
<b>T<sub>p</sub> (h)</b>	6,80	6,80	6,80	6,80	6,78	6,78	6,78	6,78	6,77	6,77	6,77

Para uma melhor análise traçaram-se as representações gráficas dos resultados anteriores, de forma a analisar a evolução dos caudais de ponta e dos tempos de ponta com a evolução da urbanização do território:

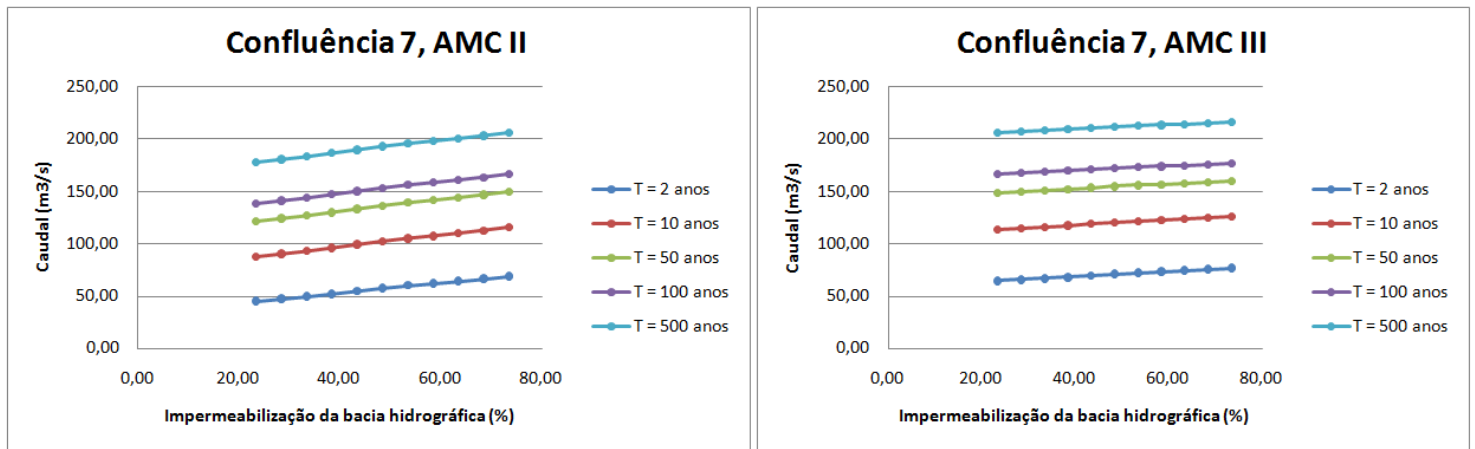


Figura 5.6 Caudais de ponta vs impermeabilização da bacia hidrográfica: Confluência 7

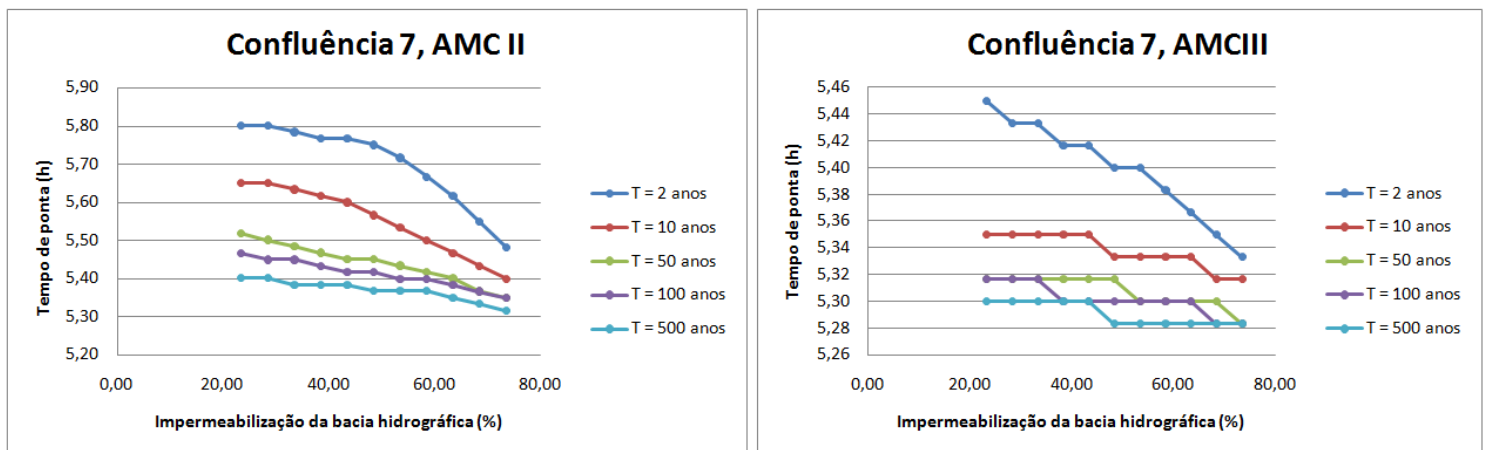


Figura 5.7 Tempos de ponta vs impermeabilização da bacia hidrográfica: Confluência 7

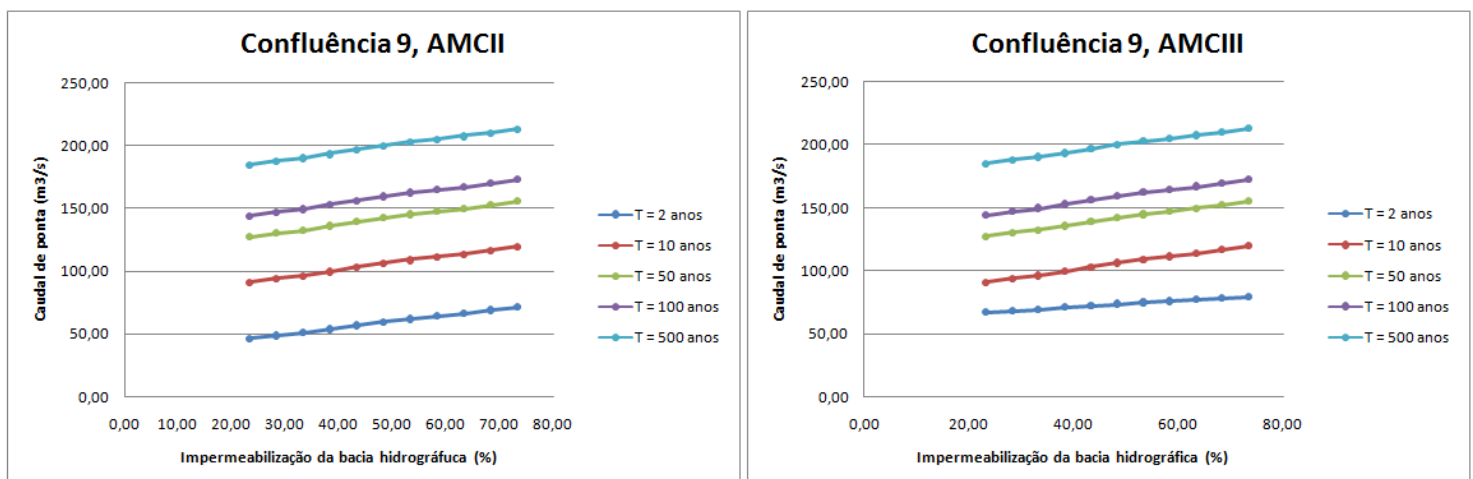


Figura 5.8 Caudais de ponta vs impermeabilização da bacia hidrográfica: Confluência 9



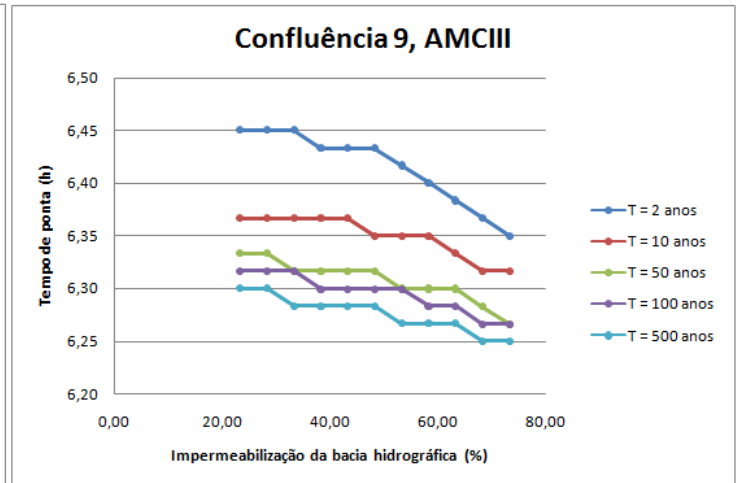
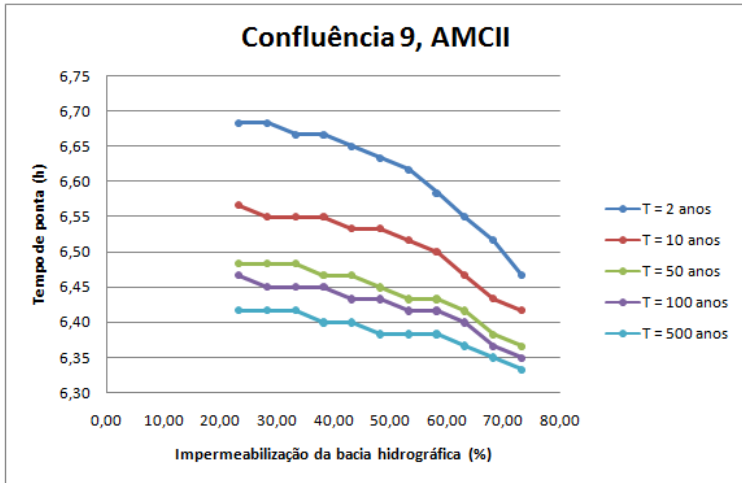


Figura 5.9 Tempos de ponta vs impermeabilização da bacia hidrográfica: Confluência 9

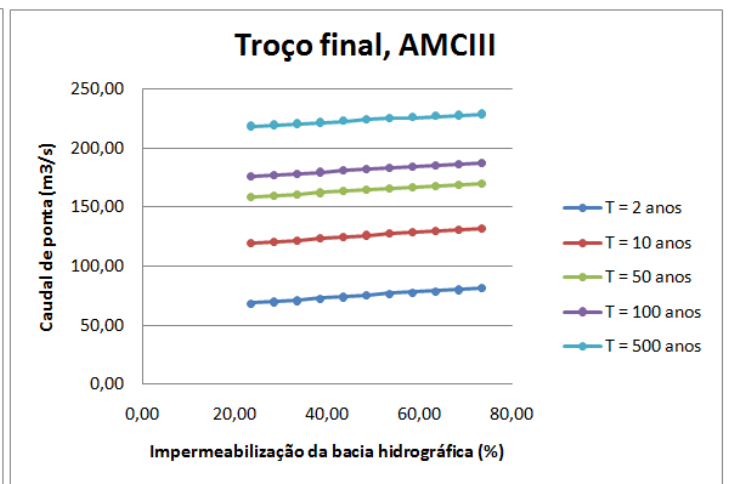
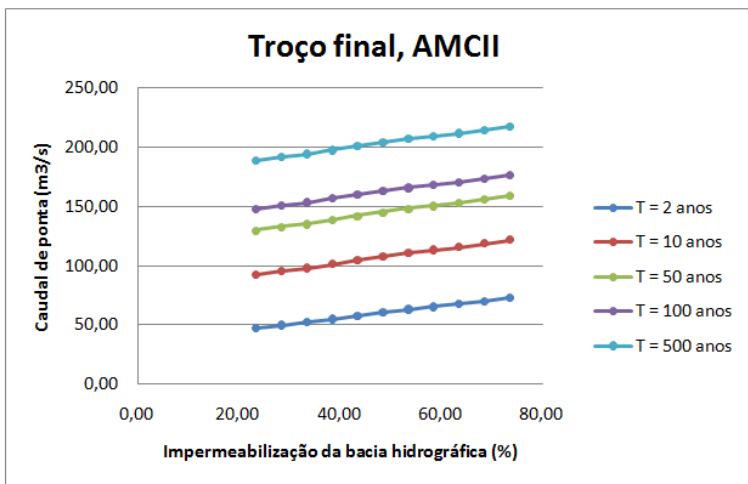


Figura 5.10 Caudas de ponta vs impermeabilização da bacia hidrográfica: Troço final

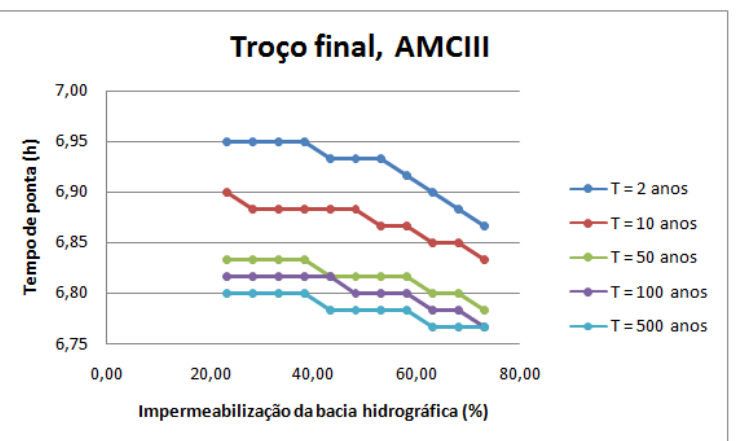
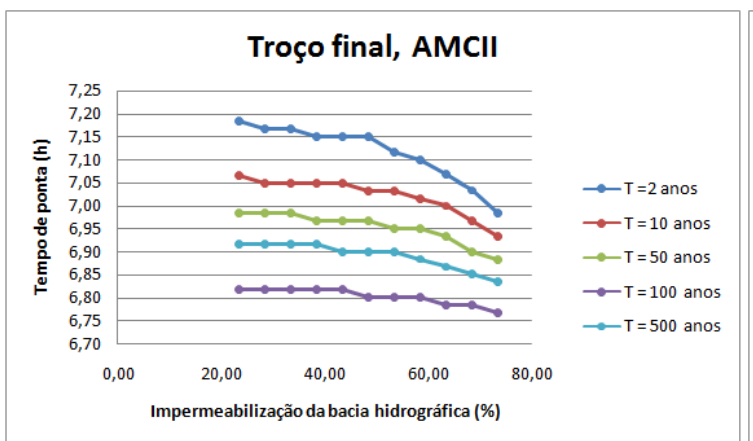


Figura 5.11 Tempos de ponta vs impermeabilização da bacia hidrográfica: Troço final

Duma primeira análise podemos verificar que o comportamento das curvas é semelhante para todos os pontos considerados, diferindo na intensidade que é superior no troço final. Também novamente podemos observar a influência da humidade antecedente do solo na resposta das bacias

hidrográficas às cheias, que influencia de forma positiva os caudais e de forma negativa os tempos de ponta.

Observa-se, ainda, a diferença no comportamento das representações gráficas dos caudais e dos tempos de ponta. Assim, verifica-se que quando os caudais de ponta aumentam os respectivos tempos de ponta diminuem, relação que matematicamente é expressão pela equação 4.8.

Da comparação dos gráficos para o mesmo ponto, para AMC diferentes, podemos concluir que a impermeabilização do solo perde algum impacto para os casos de humidade antecedente dos solos superiores, o que se observa na diminuição do declive das rectas traçadas. Isto é, nos casos em que os solos estão mais secos no início das chuvadas a influência da impermeabilização é maior do que nos casos em que os solos estão mais húmidos. Tal acontece porque a humidade inicial vai ter uma influência qualitativamente semelhante à impermeabilização dos solos, pois ambos os factores vão diminuir a intensidade da infiltração.

#### 5.4.3 Altura do escoamento

Para estudar como a evolução do caudal se traduziria na altura de escoamento, utilizou-se uma curva de altura de escoamento para cada secção crítica. As curvas foram construídas através de dados de caudal e de altura do escoamento, resultados das simulações realizadas em (Municipia, 2011) para o estudo do comportamento do escoamento na bacia hidrográfica da ribeira da Laje, através de uma aproximação logarítmica, que permitiu maximizar o coeficiente de regressão.

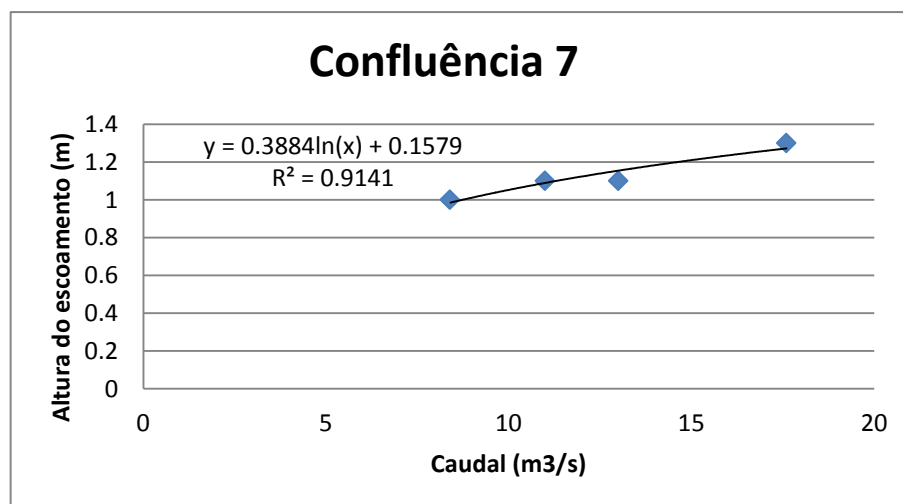


Figura 5.9 Curva de altura de escoamento na confluência 7

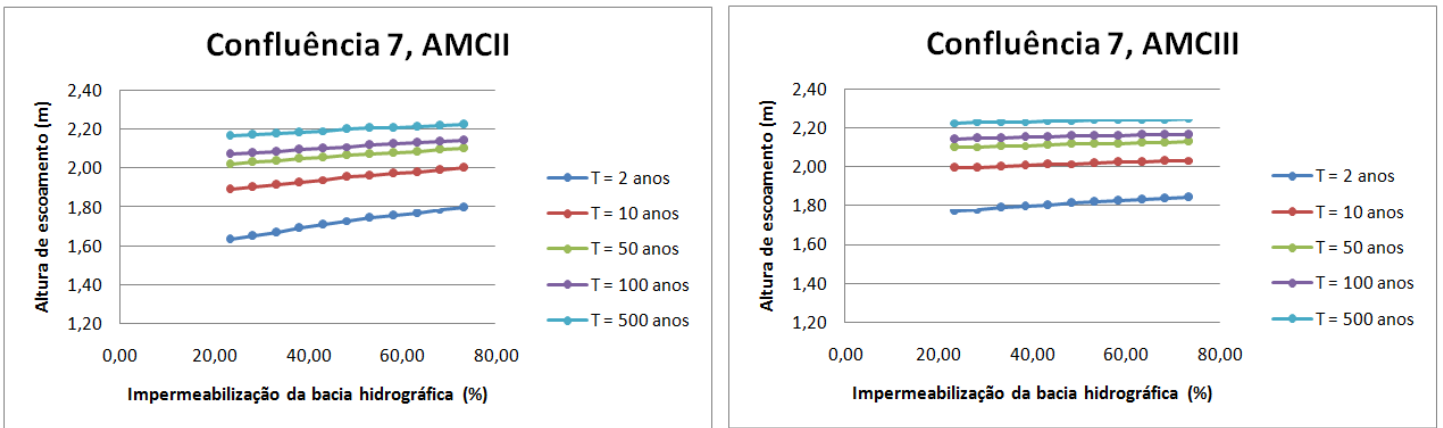


Figura 5.10 Curvas de altura de escoamento vs impermeabilização da bacia hidrográfica: confluência 7

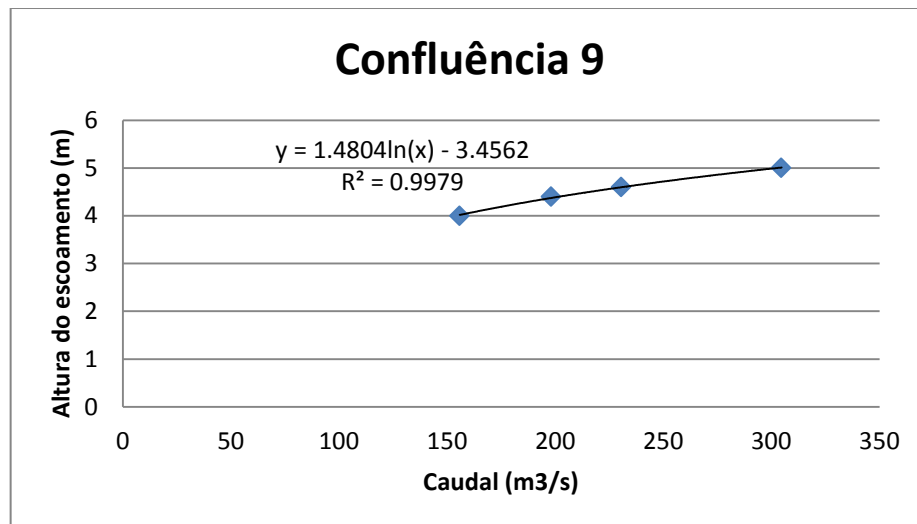


Figura 5.11 Curva de altura de escoamento na confluência 9

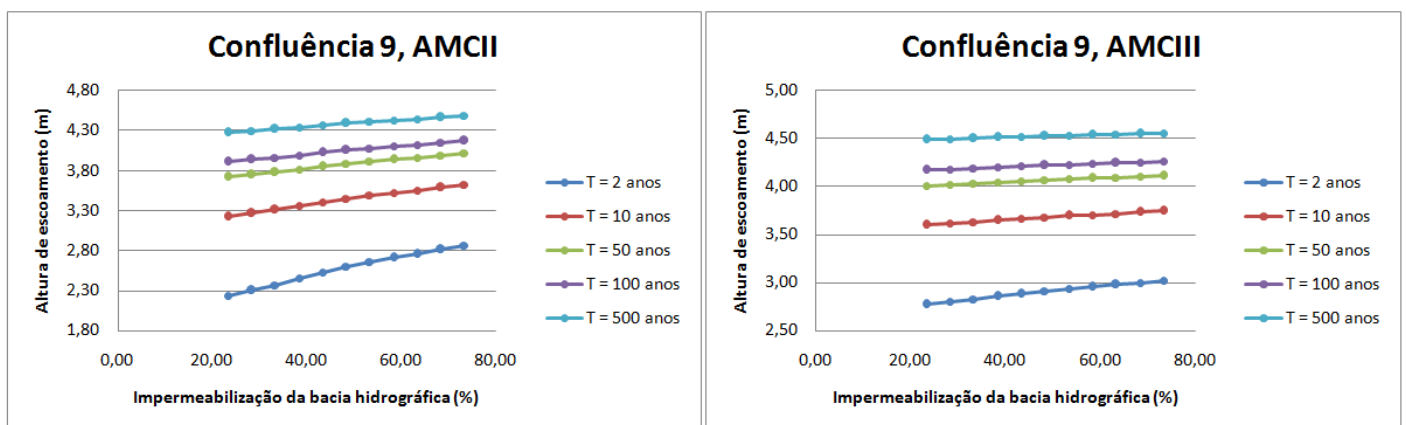


Figura 5.12 Curvas de altura de escoamento vs impermeabilização da bacia hidrográfica: confluência 9

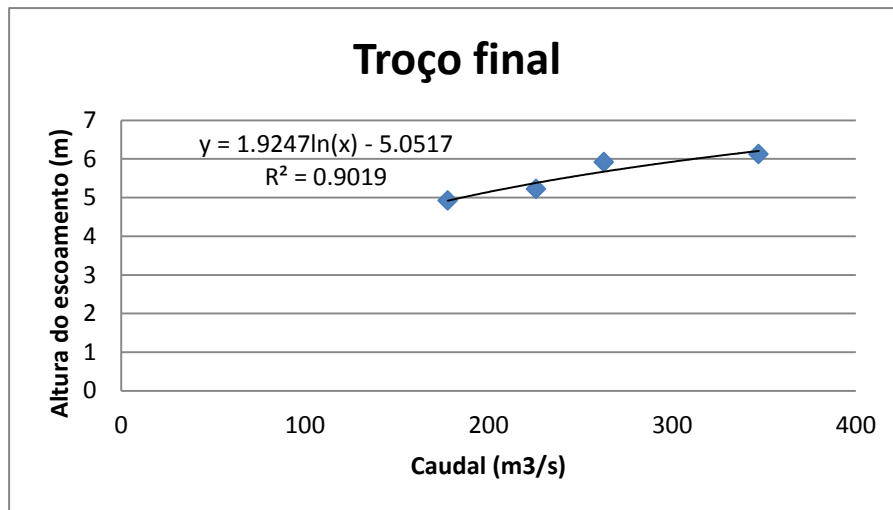


Figura 5.13 Curva de altura de escoamento no troço final

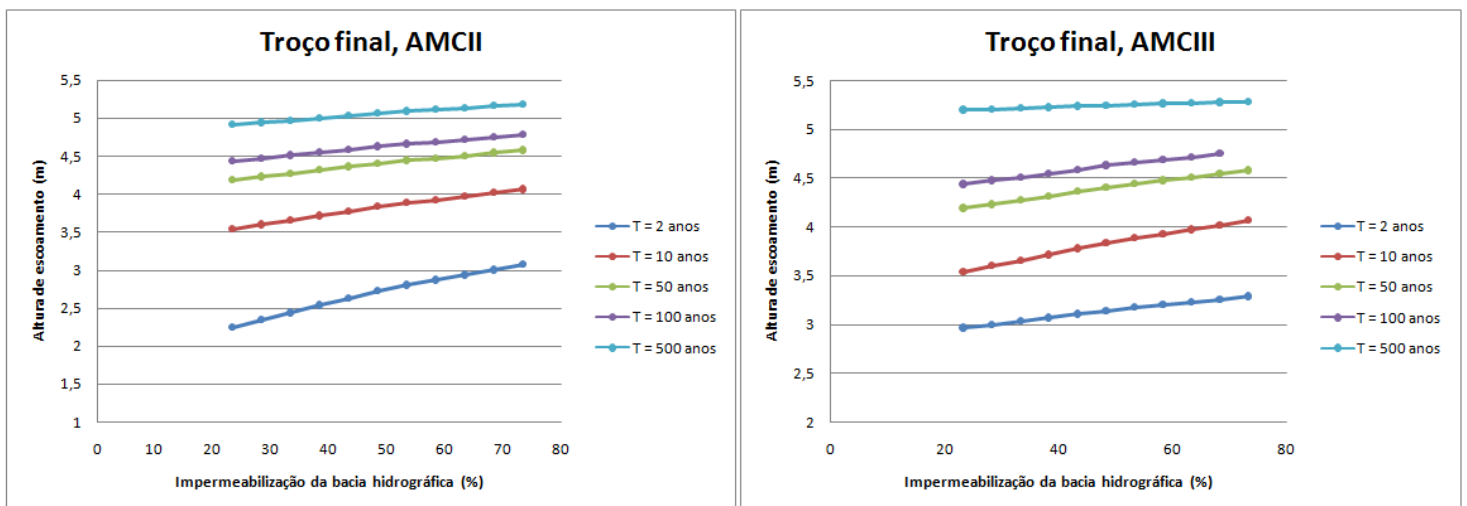


Figura 5.14 Altura de escoamento vs impermeabilização da bacia hidrográfica: Troço final

Em concordância com o que tem sido observado ao longo do trabalho, pode-se verificar a relação entre a impermeabilização da bacia hidrográfica e a resposta à ocorrência de precipitações intensas. Assim, os aumentos da impermeabilização dos solos da bacia hidrográfica traduzem-se em maiores alturas de escoamento, o que é agravado para condições antecedentes de humidade maiores. Também se observa que a influência da impermeabilização dos solos é tanto menor quanto maior a condição antecedente de humidade do solo e a intensidade da precipitação.

## 6 Conclusões

As cheias são um fenómeno que sempre fez parte da história humana com o qual o homem já convive há muito tempo. No entanto, o crescimento dos centros urbanos, muitas vezes realizado de forma desordenada, tem contribuído para a alteração das características das cheias e tem aumentado os riscos e os danos a que as populações estão expostas durante as cheias.

Tendo isso em conta, a presente dissertação tinha como grande objectivo o estudo da influência que a urbanização tem na resposta da bacia hidrográfica à ocorrência de cheias, nomeadamente as designadas cheias rápidas.

Os resultados apresentados neste trabalho resultam de uma análise à bacia hidrográfica da Ribeira da Laje e à sua resposta a precipitações estimadas, para diferentes períodos de retorno e condições antecedentes de humidade do solo.

Os principais resultados obtidos são os caudais de ponta de cheia e os respectivos tempos de ponta, que se apresentam de forma a demonstrar sempre a influência da impermeabilização dos solos.

Da análise dos resultados verifica-se que a urbanização da bacia hidrográfica, avaliada através da sua impermeabilização, tem um efeito directo nos caudais e tempos de resposta da bacia hidrográfica, que parece ser relativamente linear de acordo com o modelo utilizado, para as diferentes intensidades de precipitação simuladas. Outro efeito muito visível nos resultados apresentados, é a importância que a humidade antecedente dos solos tem para a intensidade da cheia, resultando em caudais de ponta muito superiores àqueles observados em solos mais secos e, de forma inversa, em tempos de ponta inferiores. Realça-se, assim, a importância de considerar este factor em análises de cheias rápidas, onde a intensidade da precipitação é elevada e o solo pode ficar rapidamente saturado.

Embora o aumento da urbanização da bacia hidrográfica tenha impactes visíveis para qualquer situação de precipitação simulada, os efeitos parecem ser maiores para condições antecedentes de humidade dos solos menores, como explicado anteriormente.

Se confrontarmos os resultados obtidos com a informação das cheias de 1967, que apontam para cheias de períodos de retorno de 500 anos, podemos estimar que na região mais urbana da foz da Ribeira da Laje, o caudal de ponta, que não foi medido, deverá ter sido superior a 200 m<sup>3</sup>/s, e a altura do escoamento superior a 5m, valores estes que são, de facto, elevados e ajudam a entender a violência do acontecimento.

É necessário apontar a falta de calibração do modelo, contudo não havendo dados disponíveis em número suficiente e consideráveis fiáveis, não se pode realizar esta importante etapa da

modelação. No entanto entende-se que seria importante validar e otimizar o modelo aqui apresentado, com vista a utilizações futuras.

A análise realizada às alturas de escoamento, embora não muito rigorosa, permite inferir que, para a região em estudo, a altura do escoamento não é muito afectada pela variação da impermeabilização dos solos. Ainda sobre a altura de escoamento, é relevante confrontar os resultados obtidos, que são, no máximo, de 5,3m, com as escalas utilizadas para a delimitação das cartas de zonas inundáveis dos PDM's. No âmbito da revisão do PDM, as câmaras municipais de Oeiras e Cascais já construíram cartas de áreas inundáveis, à escala de 1:10 000 e 1:15 000 respectivamente, escalas estas que não permitem de forma alguma representar de forma precisa as áreas com risco de inundação, não sendo sensíveis a variações de poucos metros. De acordo com o Decreto-Regulamentar nº. 10/2009, de 29 de Maio, as cartas apresentadas para os PDM podem ir até a uma escala de 1:25 000, sendo esta uma escala desadequada para as cartas de áreas inundáveis e de zonas de riscos. As cartas de PP devem ser feitas à escala de 1:2000, o que é uma escala muito mais sensível a variações da ordem de grandeza da unidade de metros. No âmbito da revisão do PDM, o estudo (Municipia, 2011) construiu cartas de zonas inundáveis à escala dos PP.

Do estudo dos PDM's dos conselhos de Oeiras, Sintra e Cascais, e outros documentos relevantes para o trabalho, verificou-se que não parece existir uma articulação na gestão dos recursos comuns, não sendo visível uma política de gestão territorial integrada. Neste sentido, deveria haver um esforço para que tal acontecesse, pois tal permitiria uma gestão coerente da bacia hidrográfica, com a maximização dos recursos disponíveis e com a harmonização das políticas de gestão, que possibilitaria um maior controlo do ordenamento do território e da ocupação dos solos, bem como dos riscos existentes para as populações.

Esta questão torna-se ainda mais relevante se considerarmos que as políticas de ordenamento do território e de preservação dos recursos hídricos dos municípios a montante têm um efeito directo e importante nas cheias dos municípios de jusante. Verifica-se, para a bacia hidrográfica da Ribeira da Laje, que Sintra, o município mais a montante, não aparenta ter dado tanta relevância aos recursos hídricos ribeirinhos como Oeiras e Cascais. Na verdade a Ribeira da Laje atravessa os três municípios, Sintra, Cascais e Oeiras, mas se a gestão da bacia hidrográfica não for realizada de forma integrada entre os três municípios, será em Oeiras que os danos serão maiores. O conhecimento desta situação pode levar os municípios a montante a não atribuírem a importância devida à protecção contra cheias.

Por fim há que considerar as medidas de protecção e mitigação dos riscos de cheias, e a sua aplicabilidade para as cheias rápidas. Num meio com uma ocupação urbana elevada, torna-se difícil a aplicação de medidas que impliquem grandes alterações na estrutura de organização territorial actual. No entanto, há que preservar os locais dos leitos de cheias e fazer valer os instrumentos legais de protecção, de forma a evitar que a tendência de ocupação das margens dos rios se mantenha. Para o caso da bacia hidrográfica da Ribeira da Laje, em particular, havendo um meio de protecção próprio, como sendo o título de zona adjacente, há que ser mais restritivo no licenciamento

dos usos e transformação dos solos e nas penalidades em caso de incumprimento do previsto. Sendo respeitado e correctamente aplicado, este instrumento de gestão territorial pode ser útil para a mitigação dos riscos de cheia, tendo a capacidade de impedir a ocupação das zonas com risco de cheias elevado.

Outro problema relacionado com as cheias rápidas é o curto intervalo de tempo em que ocorrem, que não facilita a implementação eficaz de um plano de monitorização em tempo real, que permita o accionamento de planos de emergência em tempo de actuar ainda numa fase de prevenção e protecção da população. Contudo, alertas à população, em casos de previsão de chuvas intensas, podem e devem ser praticados. De resto, a população deve ser informada dos riscos que corre e da necessidade de uma gestão territorial que permita a adequada gestão dos riscos de cheias e, tanto quanto possível, deve ser envolvida no desenvolvimento dos planos de riscos de cheias.

## 7 Bibliografia

Agência Portuguesa do Ambiente - **Plano de gestão da região hidrográfica do Tejo - Relatório Técnico Versão Extensa. Parte 5 – Objectivos**. Lisboa : APA , 2012 .

Agência Portuguesa do Ambiente - **Plano de gestão da região hidrográfica do Tejo. Fichas de medidas**. Lisboa : APA , 2012 .

Agência Portuguesa do Ambiente - **Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo. Repositório de mapas**. Lisboa : APA , 2012 .

Agência Portuguesa do Ambiente - **Planos de Gestão de Região Hidrográfica**. Lisboa, 2013. [consult. 05 Set. 2013]. Disponível na WWW: <URL: <http://www.apambiente.pt/?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=834>>.

Agência Portuguesa do Ambiente - **Plano Nacional da Água**. Lisboa. [consult. 23 Jul. 2013]. Disponível na WWW:<URL:<http://www.apambiente.pt/?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=833>>.

ALLEY, W. M.; VEENHUIS, J. E. - Effective impervious area in urban runoff modeling. *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 109, nº2 (1983), 313-319

AMARAL, Ilidio do - As inundações de 25/26 de Novembro de 1967 na região de Lisboa. *Finisterra*. Lisboa. ISSN 0430-5027. Vol. 3, nº 5 (1968), 79-84.

ARNOLD, Chester L.; GIBBONS, James C. - Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Indicator. *Journal of the American Planning Association*. Chicago. ISSN 1939-0130, Vol. 62, nº2 (1996), 243-258.

BARREDO, José I. - Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Natural Hazards*. ISSN 1573-0840. Vol.42, (2006) 125-148.

BOOTH, Derek B.; JACKSON, C. Rhett - Urbanization of Aquatic systems: degradation thresholds stormwater detection, and the limits of mitigation. *Journal of the American Water Resources Association*. ISSN: 1752-1688 Vol.33, nº5 (1997), 1077-1090.

BORGA, M., et al. - Flash Flood forecasting, warning and risk management: the HYDRATE project. *Environmental Science and Policy*, ISSN 1462-9011. Vol.14, (2011), 834-844.

BRANDÃO, Cláudia; RODRIGUES, Rui - **Precipitações Intensas em Portugal Continental para períodos de retorno até 1000 anos**. Lisboa: Instituto da Água, Direcção dos Serviços dos Recursos Hídricos, 1998.

BRUN, S.; BAND, L. - Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed. *Computers, Environment and Urban Systems*, ISSN: 0198-9715. Vol.24 (2000), 5-22.



CALÇADA, Mónica C.; PORTELA, Maria M.; MATOS, João - Análise de Cheias e Delimitação de Zonas Inundáveis em Timor Leste. Abordagem Abordagem por Modelação Geográfica. In 7º Congresso da Água Lisboa:APRH, 2004. ISBN 972-97480-6-3.

CALÇADA, Mónica C. - **Análise de Cheias e Delimitação de Zonas Inundáveis em Timor Leste. Abordagem por Modelação Geográfica** . Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2003. Tese de mestrado.

Câmara Municipal de Oeiras - **Plano Municipal de Emergência de Protecção Civil**. Oeiras: CMO, 2010.

Câmara Municipal de Oeiras - Requalificação das Ribeiras. Oeiras Actual. Boletim Municipal. ISBN 1646-5970. Vol.208, 2011.

Câmara Municipal de Oeiras - **Plano Director Municipal de Oeiras. Revisão. Relatório de Caracterização e Diagnóstico. Volume I**. Oeiras: CMO, 2012.

Câmara Municipal de Oeiras - **Reserva Ecológica Nacional. Memória Descritiva e Justificativa**. Oeiras: CMO, 2013.

Câmara Municipal de **Oeiras - Áreas urbanas de génese ilegal-Câmara investe na requalificação das AUGI**. Oeiras, 2013. [consult. 18 Set. 2013]. Disponível na WWW: <URL:<http://www.cm-oeiras.pt/noticias%5CPaginas/AreasUrbanasGenesellegalCamaraInvesteRequalificacaoAUGI.aspx>>

Câmara Municipal de Sintra - **Documentos para consulta - Revisão do PDM**. Sintra, 2012. [consult. 15 Ago. 2013]. Disponível na WWW: <URL: [http://revisaopdm.cm-sintra.pt/files/PEDIDOS\\_SUGESTOES\\_sem\\_escala.jpg](http://revisaopdm.cm-sintra.pt/files/PEDIDOS_SUGESTOES_sem_escala.jpg)>

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, LARRY W. - **Applied Hydrology**. New York: Mcgraw-Hill Book Company, 1988. ISBN 0-07-100174-3

Colégio São Francisco - Inundações. [consult. 02 Set. 2013]. Disponível na WWW: < URL: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/inundacoes/inundacoes-8.php>>.

Comissão das Comunidades Europeias - **Gestão dos riscos de inundação. Protecção contra as cheias e inundações, sua prevenção e mitigação**. Bruxelas: Comissão das Comunidades Europeias, 2004.

CONDESSA, Beatriz - **Planeamento Biofísico e Ordenamento do Território**. Instituto Superior Técnico, 2012. [consult. 23 Jul. 2013]. Disponível na WWW: <URL:[https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1080503/1/2011\\_12\\_PBOT\\_AULA\\_4\\_IGT.pdf](https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1080503/1/2011_12_PBOT_AULA_4_IGT.pdf)>

COSTA, Ana Catarina - **Aplicação do Modelo SWAT ao estudo hidrológico das Ribeiras da Costa do Estoril**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2009. Tese de mestrado.

COSTA, Pedro - **Cidades e Urbanização em Portugal: Uma Sociologia, Geografia ou Economia Urbanas?** . Lisboa: ISEG, 1993.

DIAS, J. Alveirinho - **Geologia Ambiental - Cheias**, Universidade do Algarve, 2006. [consult. 07 Ago. 2013]. Disponível na WWW: < URL: [http://w3.ualg.pt/~jdiias/GEOLAMB/GA3\\_cheias/GA34\\_cheias/cheias.html](http://w3.ualg.pt/~jdiias/GEOLAMB/GA3_cheias/GA34_cheias/cheias.html)>

European Environment Agency - **Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe. An overview of the last decade**. Copenhagen: EEA, 2010. ISSN 1725-2237.

European Environment Agency (2012). [consult. 11 Nov. 2013]. Disponível na WWW: < URL: <http://www.epa.gov/greenacres/landuse.html>>.

Federal Emergency Management Agency - **Homeowner's Guide to Retrofitting. Six Ways to Protect Your Home From Flooding**. Second Edition., Washington DC: U.S. Department of Homeland Security, 2009.

Google Maps (2013). [consult. 19 Set. 2013]. Disponível na WWW: < URL: [https://maps.google.pt/maps?q=Tala%C3%ADde+Oeiras&rlz=1C1CHVZ\\_ptPTPT525PT525&um=1&ie=UTF-8&hl=pt-PT&sa=N&tab=wl](https://maps.google.pt/maps?q=Tala%C3%ADde+Oeiras&rlz=1C1CHVZ_ptPTPT525PT525&um=1&ie=UTF-8&hl=pt-PT&sa=N&tab=wl)>.

GREEN, C.; PARKER, D.; TUNSTALL, S. - **Assessment of Flood Control and Management Options**. Cape Town: Secretariat of the World Commission on Dams, 2000.

Guia Online da História de Portugal - *Palácio do Marquês de Pombal Conde de Oeiras*, 2013. [consult. 13 Set. 2013]. Disponível na WWW: < URL: (<http://www.historiadeportugal.info/palacio-do-marques-de-pombal-conde-de-oeiras/>)>.

GUOXIANG, Yang, et al. - Hydroclimatic Response of Watersheds to Urban Intensity: An Observational and Modeling-Based Analysis for the White River Basin, Indiana. Journal Of Hydrometeorology. Washington DC. ISSN 1525-7541 . Vol.11, nº1 (2010), 122-138.

Hidro4 - **Plano de intervenção para a Ribeira da Laje a jusante de Talaíde - Estudo prévio**. 1988

HIPÓLITO, João R.; VAZ, Álvaro. C. - **Hidrologia e Recursos Hídricos**. Lisboa: IST Press, 2011. ISBN 978-972-8469-86-3.

HOLMAN-DODDS, Jennifer. K.; BRADLEY, A. Allen ; POTTE, Kenneth W. - Evaluation of the Hydrologic Benefits of Infiltration-based Stormwater Management. Journal of the American Water Resources Association. ISSN 1752-1688. Vol. 39, nº1 (2003), 205-215.

Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana - **Palácio do Marquês de Pombal / Palácio dos Condes de Oeiras**. 2006. [consult. 13 Set. 2013]. Disponível na WWW: < URL: ([http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=6083](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=6083))>.

Instituto de Meteorologia. - **Relatório DMC/CIME- 01/2008. Cheias de 18 de Fevereiro de 2008.**  
Lisboa: Instituto de Meteorologia,2008.

JACOBSON, Carol R. - Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: a review. Journal of Environmental Management, ISSN 0301-4797. Vol.92 (2011), 1438-1448.

LENCASTRE, A; FRANCO, F. M., **Lições de Hidrologia**, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 1992.

LEOPOLD, Luna. B.- Hydrology for urban land planning - A guidebook on the hydrologic effects of urban land use.Geological survey. Washington: United States Department of the Interior, 1968.

LINSLEY,R. K.; KOHLER, M. A.; e PAULHUS, J. L. H., **Hydrology for engineers**. McGraw-Hill Book Company, 1985.

Município, EM,SA. - **Estudo Hidrológico e Hidráulico das bacias Hidrográficas de Oeiras para elaboração de carta de zonas inundáveis de acordo com o Decreto-Lei nº.115/2010.** Oeiras: Município, EM,SA, 2011.

NATO - **Coping With Floods**. Erice, Italy: Kluwer Academic Publisher, 1992. ISBN 0-7923-2706-3

OLIVEIRA, Rodrigo P. - **Hidrologia, Ambiente e Recursos Hídricos**, Instituto Superior Técnico, 2011. [consult. 10 Mai. 2013]. Disponível na WWW: < URL:  
[https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1030815/1/IST\\_HARH\\_Teor\\_8\\_AnalCheias.pdf](https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1030815/1/IST_HARH_Teor_8_AnalCheias.pdf)>.

OLIVEIRA, Rodrigo P., et al. - **Alterações Climáticas no Município de Sintra. Recursos Hídricos.** Sintra: CMS, 2009.

OLIVEIRA, Rodrigo P., et al - **Plano Estratégico de Cascais face às Alterações Climáticas. Sector Recursos Hídricos.** Cascais: CMC, 2010.

PENNING-ROWSELL, Edmund; FORDHAM, Maureen - **Floods Across Europe: Flood Hazard Assessment, Modelling and Management.** London: Middlesex University Press, 1994. ISBN1 898253 01 3.

PEREIRA, Cláudia Cristina - Análise de precipitações intensas. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 1995. Tese de mestrado.

PORTELA, Maria M. - **Modelação Hidrológica.** Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006

QUINTELA, C. A. - **Folhas de apoio à disciplina de Hidrologia e recursos hídricos.** Lisboa: Associação de estudantes do Instituto Superior Técnico, 1996.

RAMOS, Catarina; Reis, Eusébio - As cheias no sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas. Finisterra. Lisboa. ISSN 0430-5027. Vol.36, nº 71 (2001), 61-82.

REBELO, Fernando - Um novo olhar sobre os riscos? O exemplo das cheias rápidas (flash-floods) em domínio mediterrâneo. Territorium. Lousã. ISSN 1647-7723 Vol.15, 2008. 7-14.

SARAIVA, M. G.; CORREIA, F. N.; CARMO, V. - **Avaliação Ex-post de medidas não estruturais de defesa contra cheias na bacia hidrográfica da ribeira da Laje**. In <<4º Congresso da Água>> Lisboa: APRH, 1998.

SILVA, Delta Sousa - **Risco de cheia: vias para a sua mitigação**. Lisboa: LNEC, 2005. ISBN 972-49-2047-X

SOUTHERLAND, Roger C. - Methods for Estimating the Effective Impervious Area of Urban Watersheds. Watershed Protection Techniques. ISSN 1073-9610. Vol.2, nº1 (1995).282-284.

UNESCO - **Urban Water Cycle processes and interactions**. Paris: Unesco, 2006.

United Nations - **World Urbanization Prospects The 2011 Revision Highlights**. New York: United Nations, 2012. ISBN 9789211514933.

United States Environmental Protection Agency - Green Landscaping: Greenacres - 2012. [consult. 02 Set. 2013]. Disponível na WWW: <URL: <http://www.epa.gov/greenacres/landuse.html>>

United States Army Corps of Engineers - **HEC-HMS - User's manual**. Washington DC: Hydrologic Engineering Center, 2010. NSN 7540-01-280-5500.

United States Army Corps of Engineers - **Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Quick Start Guide**. Washington DC: Hydrologic Engineering Center, 2010. NSN 7540-01-280-5500.

University Corporation for Atmospheric Research - Flash flood early warning system reference guide. 2010. [consult. 15 Mai. 2013]. Disponível na WWW: < URL: ([http://www.meted.ucar.edu/hazwarnsys/haz\\_fflood.php](http://www.meted.ucar.edu/hazwarnsys/haz_fflood.php))>

University of Texas at Dallas - Rainfall Depth-Area Adjustment. 2007. [consult. 13 Set. 2013]. Disponível na WWW: < URL: [http://www.utdallas.edu/~brikowi/Teaching/Applied\\_Modeling/SurfaceWater/LectureNotes/Rainfall/Rainfall\\_Depth\\_Area\\_Adjustm.html](http://www.utdallas.edu/~brikowi/Teaching/Applied_Modeling/SurfaceWater/LectureNotes/Rainfall/Rainfall_Depth_Area_Adjustm.html)>.

VARENNES, Amarilis - **Produtividade dos Solos e Ambiente**. Lisboa: Escolar Editora, 200. ISBN 972-592-156-9

Healthy Waterways - Water By Design. 2011. [consult. 11 Jul. 2013]. Disponível na WWW: <URL: <http://waterbydesign.com.au/whatiswsud/>>.

## Documentos Legislativos

Decreto-Lei nº468/71. D.R. I Série. 260 (05-11-1971) 1674-1680.

Decreto-Lei nº321/83. D.R. I Série. 152 (05-07-1983) 2425-2427

Decreto-Lei nº89/87. D.R. I Série. 48 (26-02-1987) 858-860.

Decreto-Lei nº93/90. D.R. I Série. 65 (19-03-1990) 1350-1354.

Decreto-Lei nº380/99. D.R. I Série. 222 (22-09-1999) 6590-6622.

Decreto-Lei nº316/2007. D.R. I Série. 181 (19-10-2007) 6617-6670.

Decreto-Lei nº166/2008. D.R. I Série. 162 (22-09-2008) 5865-5884.

Decreto-Lei nº46º/2009. D.R. I Série. 36 (20-02-2009) 1168-1205.

Decreto-Lei nº115/2010. D.R. I Série. 206 (22-10-2010) 4757-4764.

Decreto-Lei nº 239/2012. D.R. I Série. 212 (02-11-2012) 6308-6346.

Decreto-Regulamentar nº45/86. D.R. I Série. 222 (26-09-1986) 2741-2754.

Decreto-Regulamentar nº 10/2009. D.R. I Série. 104 (29-05-2009) 3380-3383.

Directiva 2000/60/CE. Jornal Oficial da União Europeia. 327 (22-12-2000) 1-72.

Directiva 2007/60/CE. Jornal Oficial da União Europeia. 288 (06-11-2007) 27-34.

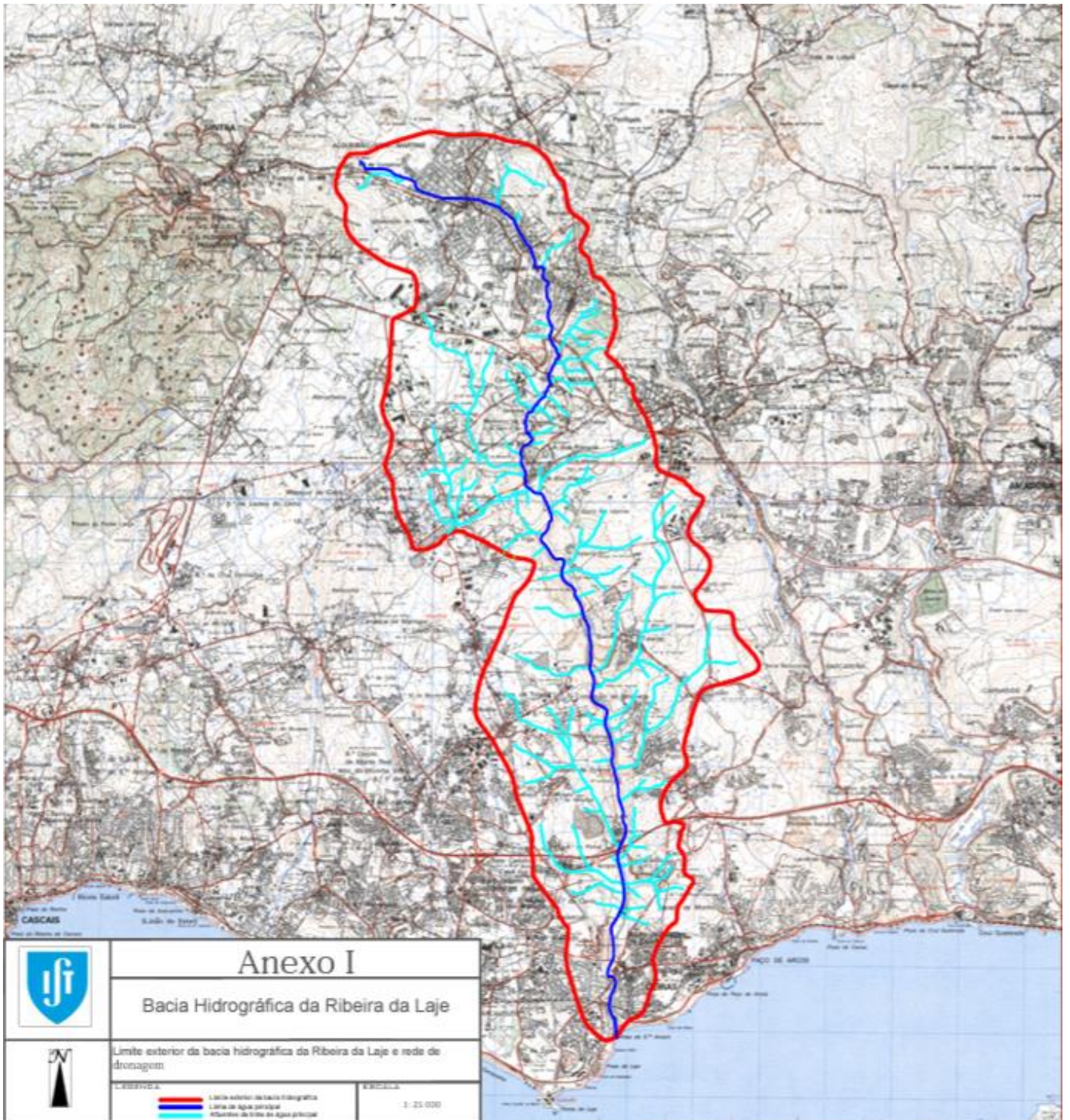
Lei nº 54/2005. D.R. I Série. 219 (15-11-2005) 6520-6525.

Lei nº58/2005. D.R. I Série. 249 (29-12-2005) 7280-7310.

Lei nº27/2006. D.R. I Série. 126 (03-07-2006) 4696-4706.

Resolução do Conselho de Ministros nº2/84. D.R. I Série. 3 (04-01-1984) 13-14.

## 8 Anexo I





## 9 Anexo II

**Tabela 9.1 Resultados da simulação I (1).**

Legenda: Área(km2); Qp- Caudal de ponta (m3/s); Tp- Tempo de ponta; v- volume (mm)

Elemento	Área	T=2 anos NC 87			T = 2 anos NC 94			T = 10 anos 87			T = 10 anos 94			T = 50 anos 87			T = 50 anos 94		
		Qp	Tp	V	Qp	Tp	V	Qp	Tp	V	Qp	Tp	V	Qp	Tp	V	Qp	Tp	V
Subbasin-1	4,743	15,5	04:10	22,98	19,3	04:09	28,36	28,4	04:09	40,19	33	04:08	47,46	36,8	04:09	54,94	41,3	04:07	63,27
Reach-1	4,743	15,2	04:38	22,98	18,9	04:36	28,36	27,8	04:37	40,19	32,4	04:36	47,46	36	04:37	54,94	40,5	04:35	63,27
Subbasin-2	1,8799	6,3	04:04	20,59	8	04:03	26,95	11,7	04:03	37,3	13,8	04:02	45,9	15,2	04:03	51,79	17,2	04:02	61,63
Junction-1	6,6229	17,2	04:34	22,3	22,3	04:13	27,95	32	04:14	39,37	38,5	04:13	47,02	42,3	04:14	54,05	48,8	04:13	62,8
Reach-2	6,6229	17,2	04:48	22,3	22	04:32	27,95	31,7	04:34	39,37	38	04:31	47,02	41,9	04:33	54,05	48,2	04:31	62,8
Subbasin-3	2,343	7,9	04:06	21,79	9,9	04:04	27,65	14,6	04:05	38,74	17	04:03	46,68	18,9	04:04	53,36	21,2	04:03	62,45
Junction-2	8,9659	21,5	04:21	22,17	27,8	04:20	27,88	39,9	04:21	39,2	47,9	04:20	46,93	52,9	04:20	53,87	61	04:19	62,71
Reach-3	8,9659	21,3	04:41	22,17	27,6	04:39	27,88	39,5	04:40	39,2	47,4	04:39	46,93	52,4	04:39	53,87	60,4	04:38	62,71
Subbasin-4	2,7255	7,4	04:11	17,01	10,5	04:08	24,83	14,7	04:10	32,97	18,5	04:07	43,55	19,7	04:09	47,06	23,4	04:07	59,17
Junction-3	11,6914	25,6	04:31	20,96	33,9	04:27	27,17	48,1	04:29	37,75	58,5	04:26	46,14	64,3	04:28	52,28	74,8	04:25	61,88
Reach-4	11,6914	25,4	04:57	20,96	33,6	04:53	27,17	47,7	04:55	37,75	58,1	04:52	46,14	63,8	04:54	52,28	74,4	04:51	61,88
Subbasin-5	3,7006	7,9	04:19	13,91	12,6	04:16	23,07	16,9	04:18	29,21	22,7	04:15	41,52	23,3	04:17	42,97	29,1	04:14	57,13
Reach-5	3,7006	7,6	05:05	13,91	12,2	05:01	23,07	16,3	05:03	29,21	22	04:59	41,52	22,5	05:01	42,97	28,3	04:59	57,13
Subbasin-7	2,8884	7,5	04:06	13,43	11,4	04:04	22,72	15,7	04:05	28,64	20,4	04:03	41,2	21,3	04:04	42,34	25,8	04:02	56,72
Subbasin-6	2,2001	5,2	04:11	13,43	8,2	04:08	22,72	11,1	04:10	28,64	14,7	04:07	41,2	15,2	04:09	42,34	18,7	04:07	56,72
Reach-7	2,2001	5,1	04:24	13,43	8,1	04:21	22,72	10,9	04:22	28,64	14,6	04:20	41,2	15	04:22	42,34	18,6	04:19	56,72
Junction-4	20,4805	37,4	04:57	17,82	52,7	04:49	25,32	72,9	04:53	33,94	92,1	04:45	44,08	99,3	04:51	48,13	119,2	04:44	59,74
Reach-6	20,4805	37,1	05:24	17,82	52,4	05:17	25,32	72,4	05:20	33,94	91,7	05:14	44,08	98,8	05:18	48,13	118,6	05:12	59,74
Subbasin-8	2,745475	6,5	04:10	12,71	10,4	04:07	22,36	14	04:08	27,77	18,6	04:06	40,73	19,1	04:07	41,39	23,7	04:05	56,31
Subbasin-10	2,6526	5,6	04:18	13,43	9,1	04:15	22,72	12,2	04:16	28,64	16,5	04:13	41,2	16,9	04:15	42,34	21,1	04:13	56,72



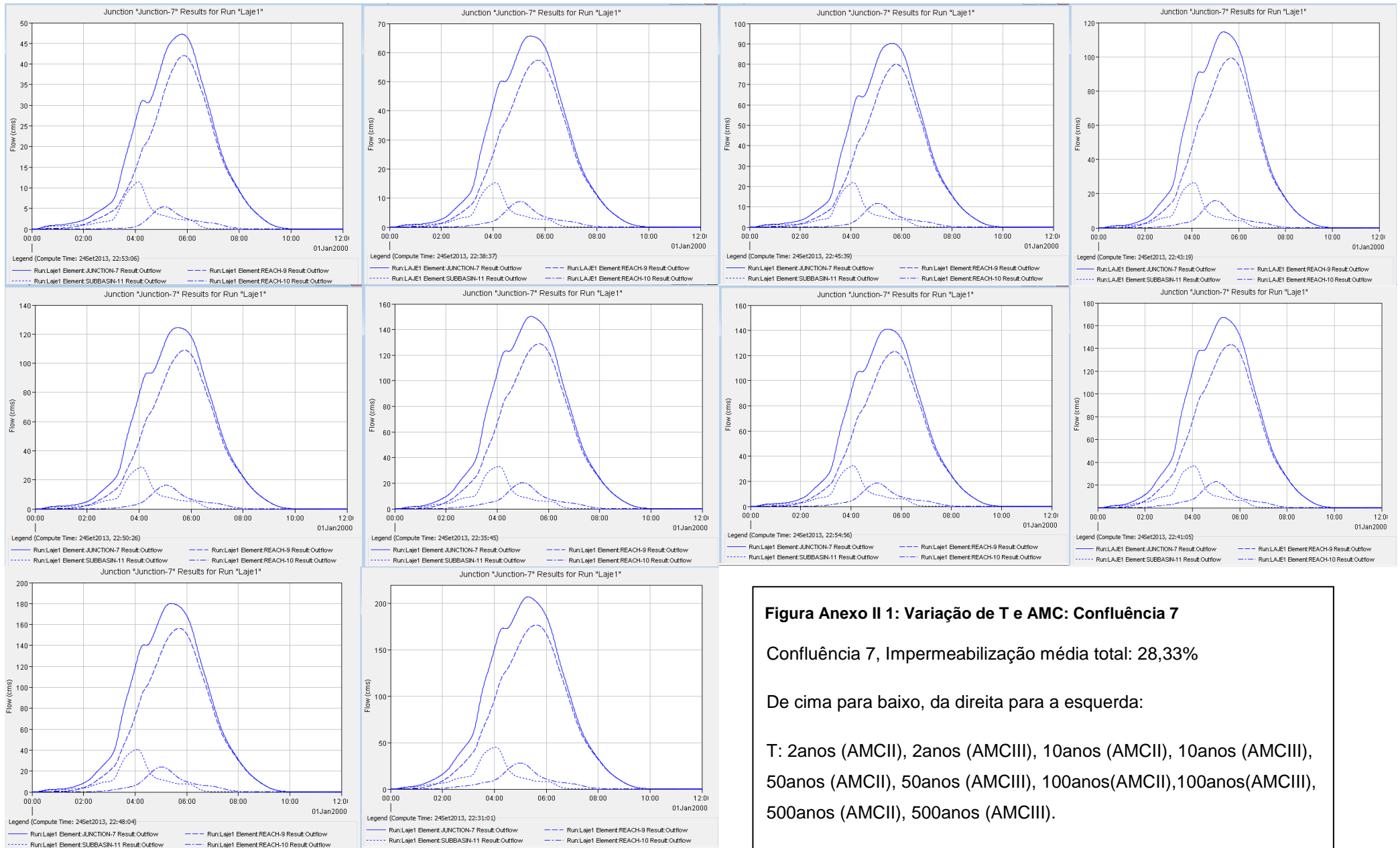
Junction-5	23,22598	39	05:23	17,21	55,1	05:15	24,97	75,9	05:18	33,21	96,2	05:12	43,68	104,1	05:16	47,33	125	05:10	59,33
Reach-8	23,22598	38,8	05:42	17,21	54,9	05:34	24,97	75,6	05:38	33,21	95,9	05:31	43,68	103,7	05:36	47,33	124,6	05:29	59,33
Subbasin-9	2,1452	6	04:03	14,62	8,8	04:02	23,42	12,3	04:03	30,08	15,5	04:01	41,99	16,4	04:02	43,91	19,5	04:01	57,54
Junction-6	25,37118	39,9	05:42	16,99	56,5	05:34	24,84	77,7	05:38	32,95	98,3	05:31	43,54	106,7	05:35	47,04	128,1	05:29	59,18
Reach-9	25,37118	39,9	05:53	16,99	56,4	05:44	24,84	77,5	05:48	32,95	98,2	05:41	43,54	106,6	05:46	47,04	127,9	05:39	59,18
Subbasin-11	3,7037	11	04:07	18,2	15	04:05	25,54	21,4	04:06	34,41	26,2	04:04	44,33	28,3	04:05	48,64	33	04:04	59,99
Reach-10	2,6526	5,4	05:07	13,43	8,8	05:03	22,72	11,7	05:04	28,64	15,9	05:01	41,2	16,3	05:03	42,34	20,5	05:01	56,72
Junction-7	31,72748	44,9	05:48	16,84	64,5	05:27	24,74	87,6	05:39	32,76	113,4	05:21	43,44	121,7	05:31	46,83	149,2	05:19	59,07
Reach-11	31,72748	44,8	06:07	16,84	64,4	05:47	24,74	87,5	05:57	32,76	113,1	05:42	43,44	121,6	05:51	46,83	148,8	05:39	59,07
Subbasin-13	1,2918	3,4	04:07	14,62	5,1	04:05	23,42	7	04:06	30,08	9	04:04	41,99	9,5	04:05	43,91	11,4	04:03	57,54
Junction-8	33,01928	45,5	06:06	16,75	65,4	05:47	24,69	88,7	05:57	32,65	114,6	05:41	43,38	123,4	05:50	46,72	150,9	05:39	59,01
Reach-12	33,01928	45,2	06:45	16,75	65,2	06:29	24,69	88,4	06:37	32,65	114	06:24	43,38	123,1	06:32	46,72	150,1	06:21	59,01
Subbasin-12	2,8162	8,3	04:13	20,59	10,9	04:11	26,95	15,7	04:12	37,3	18,9	04:10	45,9	20,6	04:11	51,79	23,7	04:10	61,63
Subbasin-14	1,5785	5,6	04:00	20,59	7	04:00	26,95	10,3	04:00	37,3	11,9	04:00	45,9	13,3	04:00	51,79	14,7	04:00	61,63
Reach-13	2,8162	8,1	04:31	20,59	10,7	04:29	26,95	15,4	04:30	37,3	18,6	04:28	45,9	20,3	04:30	51,79	23,5	04:28	61,63
Junction-9	37,41398	46,6	06:41	17,2	67,2	06:27	24,96	91,1	06:34	33,2	117,4	06:22	43,68	127,2	06:29	47,32	154,9	06:20	59,32
Reach-14	37,41398	46,6	06:44	17,2	67,2	06:30	24,96	91	06:37	33,2	117,4	06:26	43,68	127,1	06:33	47,32	154,9	06:23	59,32
Subbasin-15	2,6293	9,7	04:13	28,95	10,9	04:12	31,88	16,6	04:13	47,41	18	04:12	51,38	21	04:13	62,82	22,3	04:12	67,36
Junction-10	40,04328	47,5	06:39	17,97	68,8	06:26	25,41	92,9	06:32	34,13	120	06:23	44,18	130,2	06:28	48,33	158,8	06:20	59,85
Reach-15	40,04328	47,3	07:11	17,97	68,6	06:57	25,41	92,6	07:04	34,13	119,6	06:54	44,18	129,8	06:59	48,33	158,3	06:50	59,85

**Tabela 9.2 Resultados da simulação I (2)**

Legenda: Área(km<sup>2</sup>); Qp- Caudal de ponta (m<sup>3</sup>/s); Tp- Tempo de ponta; v-volume (mm)

Elemento	Área	T = 100 anos NC 87			T = 100 anos NC 94			T = 200 anos 87			T = 200 anos 94		
		Qp	Tp	v	Qp	Tp	v	Qp	Tp	v	Qp	Tp	v
Subbasin-1	4,743	15,5	04:10	22,98	19,3	04:09	28,36	28,4	04:09	40,19	33	04:08	47,46
Reach-1	4,743	15,2	04:38	22,98	18,9	04:36	28,36	27,8	04:37	40,19	32,4	04:36	47,46
Subbasin-2	1,8799	6,3	04:04	20,59	8	04:03	26,95	11,7	04:03	37,3	13,8	04:02	45,9
Junction-1	6,6229	17,2	04:34	22,3	22,3	04:13	27,95	32	04:14	39,37	38,5	04:13	47,02
Reach-2	6,6229	17,2	04:48	22,3	22	04:32	27,95	31,7	04:34	39,37	38	04:31	47,02
Subbasin-3	2,343	7,9	04:06	21,79	9,9	04:04	27,65	14,6	04:05	38,74	17	04:03	46,68
Junction-2	8,9659	21,5	04:21	22,17	27,8	04:20	27,88	39,9	04:21	39,2	47,9	04:20	46,93
Reach-3	8,9659	21,3	04:41	22,17	27,6	04:39	27,88	39,5	04:40	39,2	47,4	04:39	46,93
Subbasin-4	2,7255	7,4	04:11	17,01	10,5	04:08	24,83	14,7	04:10	32,97	18,5	04:07	43,55
Junction-3	11,6914	25,6	04:31	20,96	33,9	04:27	27,17	48,1	04:29	37,75	58,5	04:26	46,14
Reach-4	11,6914	25,4	04:57	20,96	33,6	04:53	27,17	47,7	04:55	37,75	58,1	04:52	46,14
Subbasin-5	3,7006	7,9	04:19	13,91	12,6	04:16	23,07	16,9	04:18	29,21	22,7	04:15	41,52
Reach-5	3,7006	7,6	05:05	13,91	12,2	05:01	23,07	16,3	05:03	29,21	22	04:59	41,52
Subbasin-7	2,8884	7,5	04:06	13,43	11,4	04:04	22,72	15,7	04:05	28,64	20,4	04:03	41,2
Subbasin-6	2,2001	5,2	04:11	13,43	8,2	04:08	22,72	11,1	04:10	28,64	14,7	04:07	41,2
Reach-7	2,2001	5,1	04:24	13,43	8,1	04:21	22,72	10,9	04:22	28,64	14,6	04:20	41,2
Junction-4	20,4805	37,4	04:57	17,82	52,7	04:49	25,32	72,9	04:53	33,94	92,1	04:45	44,08
Reach-6	20,4805	37,1	05:24	17,82	52,4	05:17	25,32	72,4	05:20	33,94	91,7	05:14	44,08
Subbasin-8	2,745475	6,5	04:10	12,71	10,4	04:07	22,36	14	04:08	27,77	18,6	04:06	40,73
Subbasin-10	2,6526	5,6	04:18	13,43	9,1	04:15	22,72	12,2	04:16	28,64	16,5	04:13	41,2
Junction-5	23,22598	39	05:23	17,21	55,1	05:15	24,97	75,9	05:18	33,21	96,2	05:12	43,68
Reach-8	23,22598	38,8	05:42	17,21	54,9	05:34	24,97	75,6	05:38	33,21	95,9	05:31	43,68
Subbasin-9	2,1452	6	04:03	14,62	8,8	04:02	23,42	12,3	04:03	30,08	15,5	04:01	41,99

Junction-6	25,37118	39,9	05:42	16,99	56,5	05:34	24,84	77,7	, 05:38	32,95	98,3	05:31	43,54
Reach-9	25,37118	39,9	05:53	16,99	56,4	05:44	24,84	77,5	05:48	32,95	98,2	05:41	43,54
Subbasin-11	3,7037	11	04:07	18,2	15	04:05	25,54	21,4	04:06	34,41	26,2	04:04	44,33
Reach-10	2,6526	5,4	05:07	13,43	8,8	05:03	22,72	11,7	05:04	28,64	15,9	05:01	41,2
Junction-7	31,72748	44,9	05:48	16,84	64,5	05:27	24,74	87,6	05:39	32,76	113,4	, 05:21	43,44
Reach-11	31,72748	44,8	06:07	16,84	64,4	05:47	24,74	87,5	05:57	32,76	113,1	05:42	43,44
Subbasin-13	1,2918	3,4	04:07	14,62	5,1	04:05	23,42	7	04:06	30,08	9	04:04	41,99
Junction-8	33,01928	45,5	06:06	16,75	65,4	05:47	24,69	88,7	05:57	32,65	114,6	05:41	43,38
Reach-12	33,01928	45,2	06:45	16,75	65,2	06:29	24,69	88,4	06:37	32,65	114	06:24	43,38
Subbasin-12	2,8162	8,3	04:13	20,59	10,9	04:11	26,95	15,7	04:12	37,3	18,9	04:10	45,9
Subbasin-14	1,5785	5,6	04:00	20,59	7	04:00	26,95	10,3	04:00	37,3	11,9	04:00	45,9
Reach-13	2,8162	8,1	04:31	20,59	10,7	04:29	26,95	15,4	04:30	37,3	18,6	04:28	45,9
Junction-9	37,41398	46,6	06:41	17,2	67,2	06:27	24,96	91,1	06:34	33,2	117,4	06:22	43,68
Reach-14	37,41398	46,6	06:44	17,2	67,2	06:30	24,96	91	06:37	33,2	117,4	06:26	43,68
Subbasin-15	2,6293	9,7	04:13	28,95	10,9	04:12	31,88	16,6	04:13	47,41	18	04:12	51,38
Junction-10	40,04328	47,5	06:39	17,97	68,8	06:26	25,41	92,9	06:32	34,13	120	06:23	44,18
Reach-15	40,04328	47,3	07:11	17,97	68,6	06:57	25,41	92,6	07:04	34,13	119,6	06:54	44,18



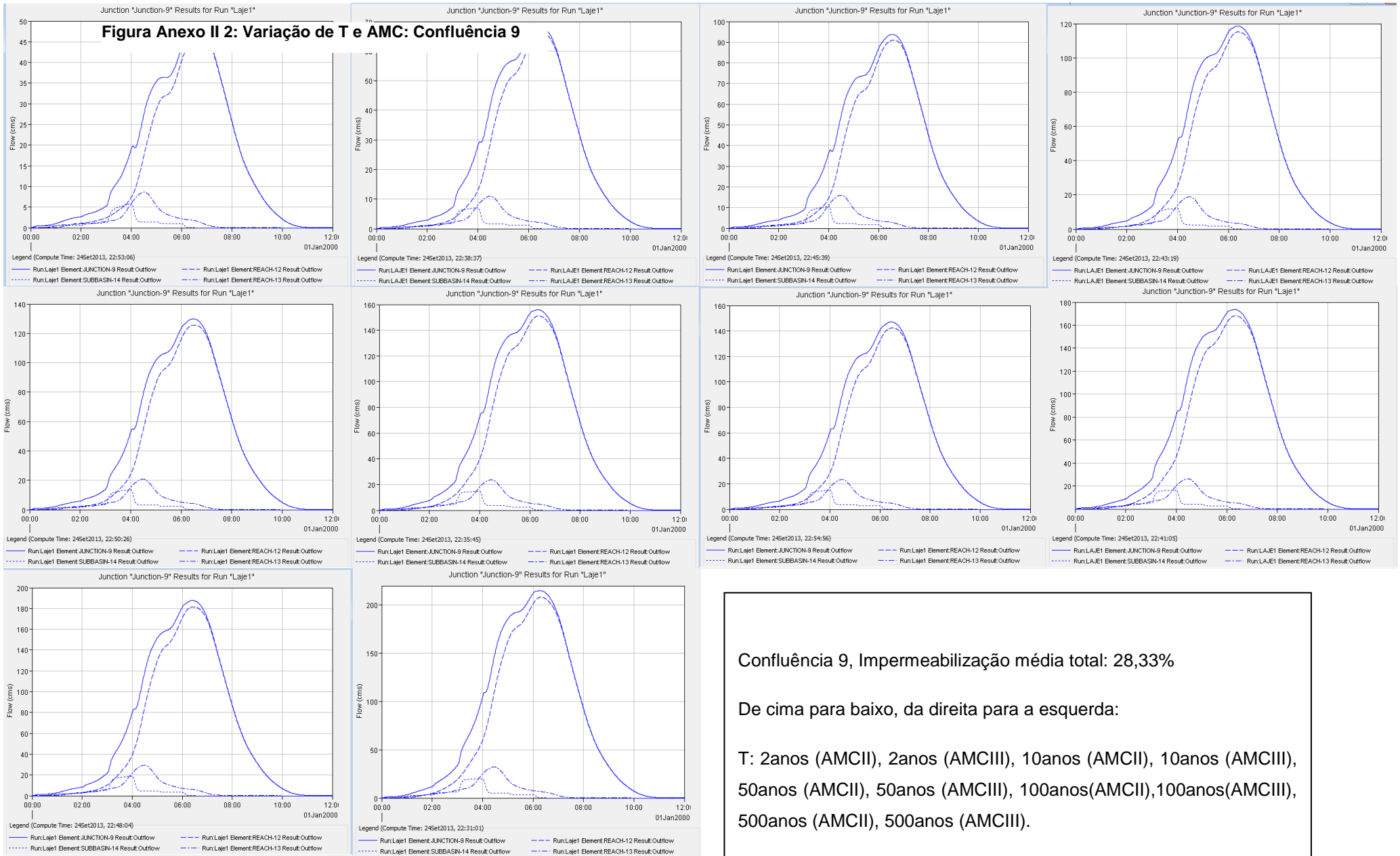
**Figura Anexo II 1: Variação de T e AMC: Confluência 7**

Confluência 7, Impermeabilização média total: 28,33%

De cima para baixo, da direita para a esquerda:

T: 2anos (AMCII), 2anos (AMCIII), 10anos (AMCII), 10anos (AMCIII),  
 50anos (AMCII), 50anos (AMCIII), 100anos(AMCII),100anos(AMCIII),  
 500anos (AMCII), 500anos (AMCIII).

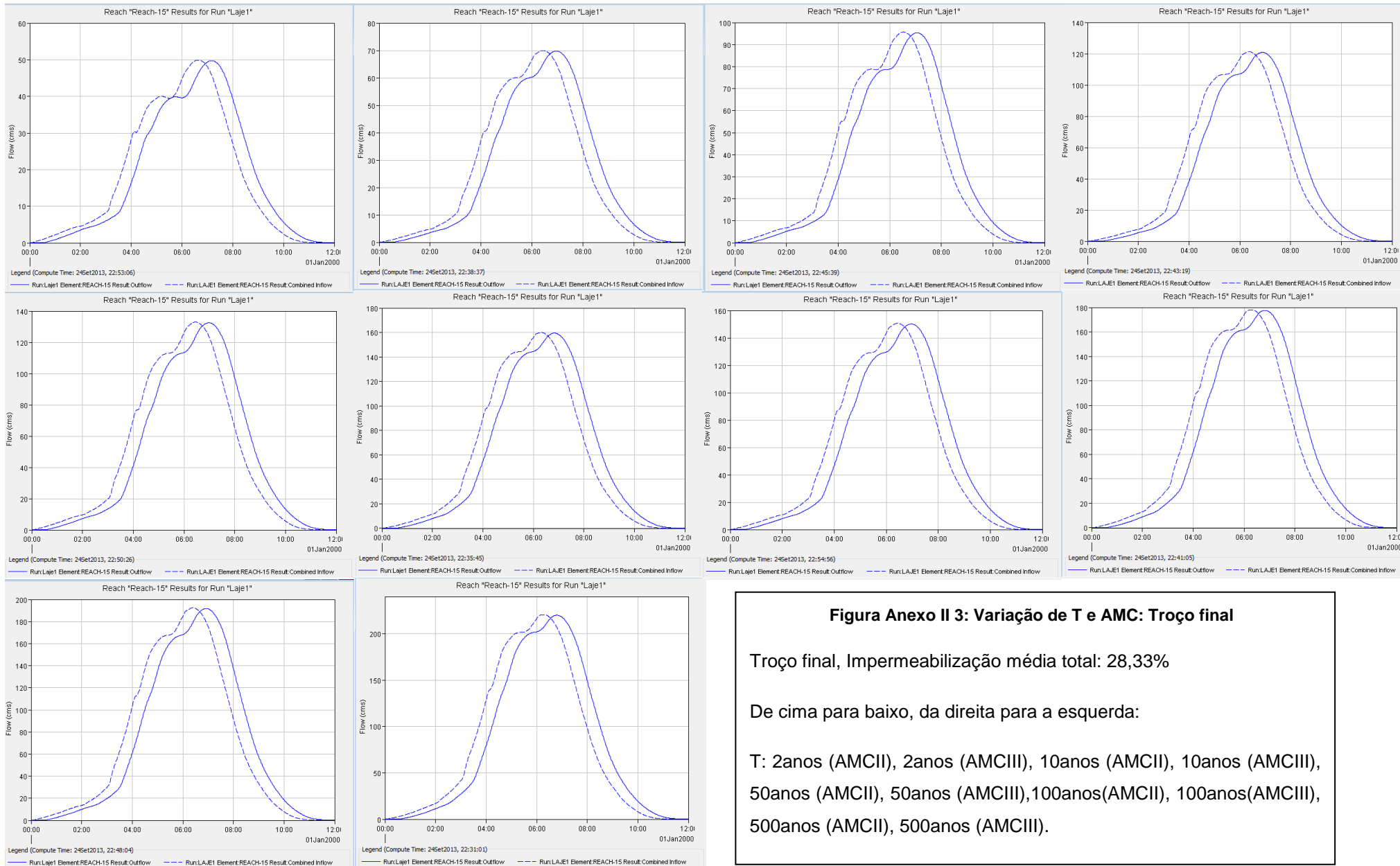
**Figura Anexo II 2: Variação de T e AMC: Confluência 9**



Confluência 9, Impermeabilização média total: 28,33%

De cima para baixo, da direita para a esquerda:

T: 2anos (AMCII), 2anos (AMCIII), 10anos (AMCII), 10anos (AMCIII),  
 50anos (AMCII), 50anos (AMCIII), 100anos(AMCII),100anos(AMCIII),  
 500anos (AMCII), 500anos (AMCIII).



**Figura Anexo II 3: Variação de T e AMC: Troço final**

Troço final, Impermeabilização média total: 28,33%

De cima para baixo, da direita para a esquerda:

T: 2anos (AMCII), 2anos (AMCIII), 10anos (AMCII), 10anos (AMCIII),  
 50anos (AMCII), 50anos (AMCIII), 100anos(AMCII), 100anos(AMCIII),  
 500anos (AMCII), 500anos (AMCIII).

