



Departamento de Engenharia Civil

Análise do Sistema de Drenagem da bacia do rio Cértoma

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil
Especialização em Construção Urbana

Autora

Maria Francisca Rocha da Silva

Orientador

Prof. Doutor Joaquim José de Oliveira Sousa

Professor do Departamento de Engenharia Civil
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, fevereiro de 2018

Ao meu Avô, Elpino.

*“A tua vida chegou ao fim
Mas no meu peito continuas
Que tenhas tanto orgulho em mim
Como eu tenho saudades tuas.”*

José Esteves

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram para o desfecho deste meu percurso académico, em que tenho todo orgulho em fazer um especial agradecimento:

Ao Professor Doutor Joaquim José Oliveira de Sousa, orientador deste relatório de estágio, pela disponibilidade e interesse que sempre mostrou ao longo deste semestre. Pela partilha de conhecimentos, incentivos, orientação e aprendizagem que tornou possível a realização deste relatório.

Ao Engenheiro Luís Costa, pela oportunidade de realizar o estágio na empresa Águas de Coimbra E. M.

À Sandra e ao Telmo, um enorme agradecimento pela ajuda, amizade, compreensão, aprendizagem e partilha de vários momentos durante estes quatro meses.

Aos meus pais, Amélia e Jaime, pelo carinho, amor, pelos conselhos e conhecimentos que partilharam comigo ao longo deste meu percurso académico. Obrigada por terem facilitado sempre tudo, e por estarem sempre ao meu lado em qualquer momento, sem eles nada disto seria possível.

Ao meu irmão, Marcelo, por estar lá para um simples telefonema de desabafo e por me apoiar sempre.

Aos meus avós, Maria Francisca e Elpino, por acreditarem sempre em mim, sei que sou o vosso orgulho e continuarei sempre a ser.

À Ana e à Petra, por se terem tornado a minha família em Coimbra. Desde as nossas aulas sempre divertidas, aos desabafos, aos risos, aos choros.

À minha amiga Bárbara, por me ter possibilitado os melhores anos universitários, sei que levo uma amiga para a vida.

À Diana, por me ter feito ver Coimbra de uma forma diferente e por ter estado sempre ao meu lado, desde o início da minha vida académica até à entrega deste relatório. Não só estive presente nas alturas de riso, mas também nas alturas de choro. Um enorme obrigada.

À Tânia e ao Leonardo, por serem meus conterrâneos o meu muito obrigada pelos dias que me proporcionaram ao longo destes seis anos, pelas palavras de apoio e acima de tudo pelo carinho e disponibilidade.

Um obrigada a todas as pessoas que direta ou indiretamente tornaram o meu sonho possível.

Maria Francisca Rocha da Silva

Coimbra, fevereiro de 2018

RESUMO

O estágio executado na empresa Águas de Coimbra E. M., teve como objetivo elaborar um Documento de Análise do Sistema de Drenagem da bacia situada no concelho de Coimbra denominada Bacia do Rio Cértoma. Este documento tem como finalidade analisar o funcionamento do sistema de drenagem de águas residuais domésticas e o escoamento das águas pluviais ao longo de todo o seu percurso e geri-lo da melhor forma possível.

Em primeiro lugar, foi proposto analisar as características físico-geográficas da Bacia do Rio Cértoma e a classificação do solo da mesma, em função do Plano Diretor Municipal em vigor. O ordenamento do território foi dividido em quatro tipos de espaços: florestais, residenciais, agrícolas e de equipamentos e infraestruturas. O que mais ocupa espaço é o espaço florestal. Depois do ordenamento de território estar concluído, procedeu-se a uma análise dos sistemas de drenagem existentes (doméstico e pluvial). Utilizando um *software* de Sistemas de Informação Geográfica, ArcMap, conseguiram-se obter as características mais importantes, tais como: área, perímetro, cotas máxima e mínima, a altitude média, o declive médio da bacia, entre muitas outras. Posteriormente foi analisado o ordenamento de território da área do concelho de Coimbra que a Bacia do Rio Cértoma abrange.

Através da modelação dos sistemas de drenagem foram simulados vários cenários. No sistema residual doméstico simulou-se a situação atual e a situação futura, considerando o aumento de consumos futuros e a ocupação de moradias atualmente inocupadas. No sistema pluvial foram efetuadas várias simulações de precipitação com hietogramas correspondentes a períodos de retorno de 5, 10 e 20 anos, cujas durações foram iguais ou triplas do tempo de concentração da bacia. Com estas simulações efetuadas conseguiu-se, analisar o risco de inundação em cada aqueduto existente na bacia em estudo. Posteriormente foram propostas algumas reformulações de aquedutos por forma a reduzir o risco de ocorrência de inundações no futuro.

Palavras chave: Sistemas de drenagem; Modelação hidráulica; Sistemas de Informação Geográfica.

ABSTRACT

The present internship, which took place at Águas de Coimbra, E. M., had as objective to elaborate a Document of Analysis of the Drainage System of the Cértoma River basin located in the Coimbra county. The purpose of this document is to analyze the present operation of drainage systems (storm water and wastewater) along their entire route and to manage them in the best possible way.

First, it was proposed to analyze the physico-geographical characteristics of the Cértoma River Basin and its soil classification, according to the Municipal Master Plan. The Coimbra county was divided in four types of spaces: forest, residential, agricultural and equipment and infrastructure. It has been verified that the forest space is the one that occupies more space. After the land-use planning was completed, an analysis was made of the existing drainage systems (storm water and wastewater). Using the ArcMap Geographic Information Systems *software*, the most important characteristics were obtained, such as area, perimeter, maximum and minimum dimensions, average altitude, average slope of the basin, along with many others. Subsequently, the territory of the Cértoma River Basin was analyzed.

Through modeling of the drainage systems, several scenarios were simulated. In the wastewater system, the current situation and a hypothetical future situation were simulated, considering the increase of future consumption and the occupation of houses currently occupied. In the storm water system, several precipitation simulations were carried out with hietograms corresponding to return periods of 5, 10 and 20 years, whose duration was equal to or equal to three times the basin concentration time. With these simulations, it was possible to analyze the flood risk in each aqueduct in the basin under study. Subsequently some reformulations of aqueducts were proposed to reduce the risk of future flooding problems.

Keywords: Drainage systems; Hydraulic modeling; Geographic Information Systems.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Estrutura do relatório	3
2. A EMPRESA ÁGUAS DE COIMBRA.....	5
2.1 Descrição da empresa Águas de Coimbra	5
2.2 Atividades desenvolvidas	6
2.3 Infraestruturas da empresa	6
2.4 Recursos humanos	7
3. SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS.....	9
3.1 Sistemas de Drenagem de Águas Residuais	9
3.2 Tipos de Sistemas de Drenagem de Águas	9
3.2 Componentes dos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas	11
3.2.1 Órgãos de ligação	12
3.2.2 Órgãos acessórios	14
3.2.3 Dispositivos de entrada	21
3.3 Drenagem Urbana – Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis.....	22
3.3.1 Caudal de águas pluviais	26
3.3.2 Curvas Intensidade-Duração-Frequência	27
3.3.3 Tempo de concentração.....	28
4. DOCUMENTO DE ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA DO RIO CÉRTOMA.....	31
4.1 Descrição da bacia	31
4.1.1 Caraterização físico-geográfica.....	32
4.1.2 Ordenamento do território	33

4.2	Caraterização do sistema de drenagem existente.....	34
4.1.1	Rede de drenagem de águas residuais domésticas.....	34
4.1.2	Rede de drenagem de águas residuais pluviais.....	35
4.1.3	Hietogramas de precipitação	36
4.3	Modelação de sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais ...	38
4.3.1	Modelação matemática	39
4.4	Modelação hidráulica com o software “Mike Urban”	41
5.	RESULTADOS	47
6.	CONCLUSÃO	59
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia de elaboração do Plano Geral de Drenagem (imagem adaptada de Pina et al., 2011).	2
Figura 2 - Logotipo da empresa Águas de Coimbra, E. M.....	5
Figura 3 – Fachada principal da sede da empresa Águas de Coimbra, E. M.	6
Figura 4 – Número de trabalhadores na empresa Águas de Coimbra.	7
Figura 5 – Distribuição dos trabalhadores por faixa etária e género.	8
Figura 6 - Distribuição dos trabalhadores por categoria e género.	8
Figura 7 - Representação esquemática de um sistema do tipo separativo (Marques et al., 2013).	10
Figura 8 - Representação esquemática de um sistema do tipo unitário (Marques et al., 2013).	10
Figura 9 - Coletor em betão armado (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2004).	12
Figura 10 - Execução de um coletor em Polipropileno Corrugado (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2013).	12
Figura 11 - Execução de um emissário (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2009). ...	13
Figura 12 – Inserção dos ramais de ligação na rede de drenagem por meio de uma forquilha simples (Martins, 2013).....	14
Figura 13 – Execução de um ramal de ligação (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2013).	14
Figura 14 – Execução de uma câmara de visita (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2009).....	15
Figura 15 – Interior de câmara de visita (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2014)...	16
Figura 16 – Câmara corrente de varrer (Sousa e Monteiro, 2005).	17
Figura 17 – Descarregador transversal retangular: a) corte lateral; b) corte transversal (Girão, 2013).	17
Figura 18 – Descarregador de tempestade - jusante da Casa do Sal, Coimbra (Girão, 2013). 18	
Figura 19 – Descarregador de tempestade - montante da Casa do Sal, Coimbra (Girão, 2013).	18
Figura 20 – Estação elevatória (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2011).	21
Figura 21 – Sumidouro na Rua Alameda Marquesa de Pomares, Coimbra.	22
Figura 22 – Sarjeta de dupla entrada na Rua António Augusto Gonçalves, Coimbra.	22

Figura 23 – Alterações hidrológicas consequentes do crescimento urbano (Mata-Lima et al., 2007).....	23
Figura 24 – Hidrograma: natural, após a construção da urbanização e após as medidas corretivas (Lima et al., 2013).	24
Figura 25 – Bacia de retenção (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2017).	25
Figura 26 – Bacia de retenção (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2017).	25
Figura 27 – Coeficientes de escoamento (Sousa, 2012).	27
Figura 28 – Regiões pluviométricas das curvas intensidade-duração-frequência (adaptado do Anexo IX do Decreto Regulamentar nº 23/95, 1995).	28
Figura 29 – Hietograma quando $t_p > t_c$ (Marques e Sousa, 2011).	29
Figura 30 – Hietograma quando $t_p = t_c$ (Marques e Sousa, 2011).	29
Figura 31 – Hietograma quando $t_p < t_c$ (Marques e Sousa, 2011).	30
Figura 32 – Localização geográfica do Concelho de Coimbra (Imagem cedida pela Águas de Coimbra, 2015).	31
Figura 33 – Localização da Bacia do Rio Cértoma com bacia vizinha (importada do software ArcGis).	31
Figura 34 – Localização da Bacia do Rio Cértoma na União de freguesias de Souselas e Botão (importada do software ArcGis).	32
Figura 35 – Ordenamento do território da Bacia do Rio Cértoma.	33
Figura 36 – Plano Diretor Municipal da Bacia do Rio Cértoma (importada do software ArcGis).	33
Figura 37 – Rede de drenagem de águas residuais domésticas (importada do software ArcGis).	35
Figura 38 – Rede de drenagem de águas residuais pluviais (importada do software ArcGis).	36
Figura 39 – Tipos de hietogramas de precipitação (Portela et al., 2000).	37
Figura 40 – Hietograma de precipitação quando $t_p = t_c$ para período de retorno de 5, 10 e 20 anos.	37
Figura 41 – Hietograma de precipitação quando $t = t_p$ para Período de retorno de 5, 10 e 20 anos.	38
Figura 42 – Logotipo do software “Mike Urban”.	41
Figura 43 – Módulo de importação de dados do “Mike Urban”.	42
Figura 44 – Módulo de confirmação/correção de dados.	42
Figura 45 – Módulo de atribuição de cotas de terreno e soleira.	43

Figura 46 – Modelo Digital do Terreno da bacia do rio Cértoma (Imagem importada do software ArcMap)	43
Figura 47 – Modulação de introdução de dados e de condições de fronteira.....	44
Figura 48 – Módulo de Simulação da rede de drenagem.	44
Figura 49 – Análise de resultados da simulação da rede.	45
Figura 50 – Rede de drenagem de águas residuais domésticas (Imagem cedida pela Águas de Coimbra, 2017).....	47
Figura 51 – Identificação das secções dos aquedutos e passagens hidráulicas (Imagem adaptada do software ArcMap, 2017).....	48
Figura 52 – Resultado das simulações com hietogramas para um período de retorno de 20 anos (Imagem importada do software “Mike Urban”, 2017).	49
Figura 53 – Imagem via satélite na zona correspondente à localização da secção 5 (Google Maps).....	52
Figura 54 – Zona correspondente à secção 5 (Anexo 2/2 Situação Futura).....	52
Figura 55 – Imagem via satélite na zona correspondente à localização da secção 6 (Google Maps).....	53
Figura 56 – Zona correspondente à secção 6 (Anexo 2/2 Situação Futura).....	53
Figura 57 – Imagem via satélite na zona correspondente à localização da secção 7 (Google Maps).....	54
Figura 58 – Zona correspondente à secção 7 (Anexo 2/2 Situação Futura).....	54
Figura 59 – Imagem via satélite nas zonas correspondentes à localização das secções 8, 9 e 10 (Google Maps).....	55
Figura 60 – Zonas correspondentes às secções 8, 9 e 10 (Anexo 2/2 Situação Futura).....	56
Figura 61 – Imagem via satélite na zona correspondente à localização da secção 11 (Google Maps).....	56
Figura 62 – Zona correspondente à secção 11 (Anexo 2/2 Situação Futura).....	57

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Sistemas de Abastecimento de Água do concelho de Coimbra.....	6
Quadro 2 – Sistemas de Drenagem de Águas Residuais Domésticas e Industriais do concelho de Coimbra.	7
Quadro 3 – Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais.....	7
Quadro 4 – Componentes das estações elevatórias (Instituto Técnico de Lisboa).....	20
Quadro 5 – Caraterísticas da Bacia do Rio Cértoma.	32
Quadro 6 – Resultados obtidos nas principais secções pluviais e comparação com as capacidades máximas (secção cheia ($h/D=0.8$) e $K_s = 75$ para betão).....	50
Quadro 7 – Propostas de remodelação e respetiva orçamentação.	57
Quadro 8 – Estimativa de custos totais de intervenção na bacia do rio Cértoma.....	60

SIMBOLOGIA

A – Área da secção molhada

C – Coeficiente de escoamento

D – Diâmetro da conduta (mm)

h – Altura de escoamento

i – Inclinação do coletor

I – Intensidade média de precipitação

Ks – Coeficiente de rugosidade

Q – Caudal escoado

Qa – Caudal afluente

Q_{máx} – Capacidade máxima do coletor

Q_p – Caudal de ponta

R_h – Raio hidráulico

t – Duração da intensidade média de precipitação

t_c – Tempo de concentração

t_p – Tempo de precipitação

t_r – Período de retorno

ΔPt – Parcela de precipitação

Δt – Intervalos de tempo para determinação de incrementos de precipitação

ACRÓNIMOS

AC – Águas de Coimbra

CBO – Carência bioquímica de oxigénio

DHI – *Danish Hydraulic Institute*

DR – Diário da República

EE – Estações Eleatórias

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

I-D-F – Curvas intensidade-duração-frequência

MDT – Modelo Digital de Terreno

OD – Oxigénio dissolvido

PDM – Plano Diretor Municipal

PGAA – Plano Geral de Abastecimento de Água

PGD – Plano Geral de Drenagem

PGDAR – Plano Geral de Drenagem de Águas Residuais

PH – Passagem Hidráulica

RGSPDADAR – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SUDS – Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A empresa onde se realizou o estágio, denominada AC, Águas de Coimbra, E. M., tem como principal objetivo fornecer a todos os seus clientes o abastecimento de água, a drenagem de águas residuais e prestar outros serviços associados à empresa. Esta tem-se focado na modernização e melhoria da qualidade de serviços que presta aos seus clientes, surgindo assim a realização do Plano Geral de Abastecimento de Água (PGAA) e do Plano Geral de Drenagem de Águas Residuais (PGDAR) do concelho de Coimbra. O principal objetivo do PGDAR é garantir um sistema de drenagem sustentável, integrando as águas pluviais em ambientes urbanos, recriando ou reutilizando ambientes naturais e restabelecendo o ciclo natural da água em meio urbano. O PGAA procura um aumento da qualidade de serviços prestados aos clientes da empresa através de uma análise crítica ao sistema de abastecimento, tendo como principal objetivo garantir o melhor desempenho que o sistema possa ter, a capacidade das condutas face às alterações futuras que possam haver e também assegurar o abastecimento de água com qualidade (Fonte: Águas de Coimbra).

O Plano Geral de Drenagem (PGD) é constituído por vários documentos, nomeadamente um por cada bacia de drenagem de águas pluviais que compõem o concelho de Coimbra, num total de 26, que se designam por Planos de Drenagem. Em cada documento é usual identificarem-se os problemas existentes, elaborando de seguida diferentes soluções para a sua resolução e quantificando os respetivos custos associados. É importante seguir várias regras ao elaborar um PGD, como ter em atenção a expansiva construção para não aumentar o caudal para as secções que se encontram a jusante, deve englobar-se para a realização da análise e do plano a totalidade da bacia, ver se o horizonte do projeto estará de acordo com o Plano Diretor Municipal (PDM) e, por fim, deve-se ter em conta outras estruturas existentes aquando da análise dos sistemas de drenagem de águas pluviais e residuais (Pina *et al.*, 2011).

Para cada Plano de Drenagem existe uma metodologia base, como é apresentada na Figura 1. Em primeiro lugar é feita uma análise, com recurso a ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) acerca das características da bacia relativamente à sua localização e ordenamento de território. De seguida é feito um estudo das características das redes de drenagem existentes, quer residuais quer pluviais, conseguindo assim definir quais os elementos base que irão ser os dados de entrada para a realização da modelação. É nesta fase que têm de ser

também definidos os consumos dos clientes da bacia em questão. Através de dados históricos obtém-se o consumo médio de cada cliente, o caudal residual doméstico produzido e o valor dos caudais de infiltração que, segundo o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR), à falta de informação em concreto, tomam o valor do caudal médio anual (Paula, 2016).

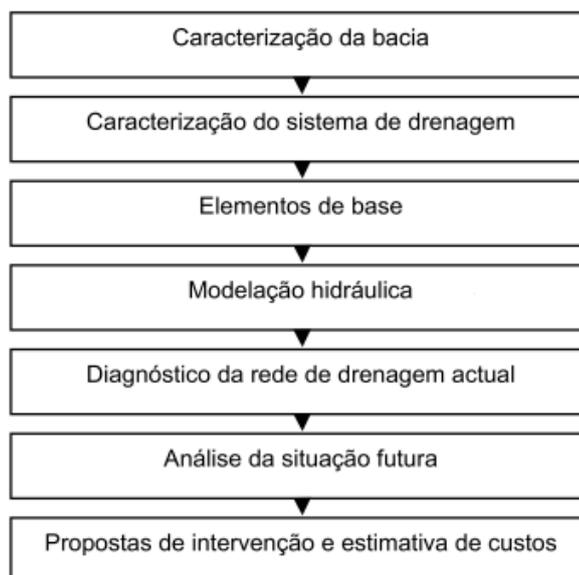


Figura 1 - Metodologia de elaboração do Plano Geral de Drenagem (imagem adaptada de Pina *et al.*, 2011).

Nas novas soluções que usualmente são apresentadas no Plano Geral de Drenagem costumam incluir-se: a reformulação de coletores e aquedutos já existentes; a reformulação de secções das linhas de água; a implementação de novos coletores; e a reutilização de coletores unitários de forma a conseguir estabelecer uma rede separativa caso os coletores ainda estejam em boas condições a nível estrutural. Bacias de retenção e de infiltração são soluções que também são usualmente estudadas e propostas. No presente Documento de Análise, estas duas hipóteses de Sistemas Urbano de Drenagem Sustentável (SUDS) também foram admitidas como possíveis e estudada, de forma leve, a sua viabilidade, como se irá ver no Capítulo 3 (Pina *et al.*, 2011).

1.2. Estrutura do relatório

Com o propósito de atingir os objetivos pretendidos, este relatório de estágio está estruturado em sete capítulos.

No Capítulo 1 do presente relatório descrevem-se os Planos Gerais de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais do concelho de Coimbra e a sua composição, descrevendo também o objetivo da sua elaboração para a empresa onde foi realizado o estágio.

No Capítulo 2 faz-se uma breve descrição da empresa Águas de Coimbra, E.M. em termos do seu âmbito geográfico, das atividades que se desenvolvem na empresa, das infraestruturas que a compõem e também um breve resumo dos recursos materiais e humanos existentes na empresa.

No Capítulo 3 apresenta-se a descrição da composição dos sistemas de drenagem de águas residuais, quer domésticas quer pluviais. Neste capítulo é explicado o que são os sistemas de drenagem, para que servem cada um destes sistemas, os seus tipos e os órgãos constituintes.

No Capítulo 4 apresenta-se uma breve descrição do Documento de Análise do Sistema de Drenagem da Bacia do Rio Cértoma, da modelação de sistemas de abastecimento de água e drenagem de águas residuais e, por fim, a utilização do *software* “*Mike Urban*” como ferramenta de simulação hidráulica.

No Capítulo 5 é feita uma abordagem à cerca dos problemas existentes em cada secção em estudo e suas possíveis remodelações.

No Capítulo 6, apresentam-se as conclusões do trabalho realizado durante este estágio curricular.

No Capítulo 7 são apresentadas as referências bibliográficas que serviram de apoio à realização deste documento.

2. A EMPRESA ÁGUAS DE COIMBRA

2.1 Descrição da empresa Águas de Coimbra

A empresa Águas de Coimbra, E.M., denominada AC, cujo logotipo se apresenta na Figura 2, é responsável pela gestão de águas do concelho de Coimbra. Esta é considerada, atualmente, uma empresa de referência pela sua experiência e profissionalismo na área em que se insere.



Figura 2 - Logotipo da empresa Águas de Coimbra, E. M.

A Empresa Municipal AC, tem recebido vários prémios tais como: Nomeação do Museu para o galardão do *European Museum Forum* em 2009; Prémio de “Qualidade de Serviço em Água e Resíduos 2010”, na categoria “Qualidade de Serviço de Abastecimento Público de Água Prestado aos Utilizadores”, promovido pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR); Selo qualidade exemplar de água para consumo humano; Prémio de Qualidade de Serviço em Águas e Resíduos 2014”, na categoria “Qualidade de Serviço de Abastecimento Público de Água”, entre muitos outros.

Assim, hoje em dia, a empresa tem cerca de oitenta e três mil e quinhentos clientes de água, setenta e oito mil clientes de saneamento, aproximadamente mil e duzentos quilómetros de rede de água, oitocentos e setenta quilómetros de rede de águas residuais domésticas/industriais, duzentos e trinta e cinco quilómetros de rede de águas pluviais, uma cobertura de 100% em abastecimento de água e 96% de cobertura em saneamento de águas residuais (Fonte: Águas de Coimbra).



Figura 3 – Fachada principal da sede da empresa Águas de Coimbra, E. M..

2.2 Atividades desenvolvidas

Neste momento na empresa são desenvolvidas várias atividades, nomeadamente a distribuição de águas, a recolha de águas residuais domésticas e pluviais e a operação e manutenção de sistemas elevatórios de água e águas residuais domésticas, entre outras.

2.3 Infraestruturas da empresa

A empresa AC possui atualmente treze sistemas de abastecimento de água, trinta e três sistemas de drenagem de águas residuais e vinte e seis sistemas de drenagem de águas pluviais. Os Quadros 1, 2 e 3 apresentam a constituição das redes de drenagem da AC.

Quadro 1 – Sistemas de Abastecimento de Água do concelho de Coimbra.

Abastecimento de água	
Condutas	1195 km
Ramais de ligação	43789
Reservatórios	56
Estações elevatórias	36

Quadro 2 – Sistemas de Drenagem de Águas Residuais Domésticas e Industriais do concelho de Coimbra.

Drenagem de Águas Residuais Domésticas e Industriais	
Coletores	872 km
Ramais de ligação	41365
Estações elevatórias	35
ETAR	1
Fossas coletivas	2

Quadro 3 – Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais.

Drenagem de Águas Pluviais	
Coletores	241 km
Ramais de ligação	2425
Bacias de retenção	13

2.4 Recursos humanos

Nas Figuras 4 e 5 podemos observar o número total de trabalhadores existentes na empresa AC por faixa etária e género e distribuição de trabalhadores por categoria e género.

Observando a Figura 4 constatamos o número de trabalhadores da empresa AC durante o ano 2016.

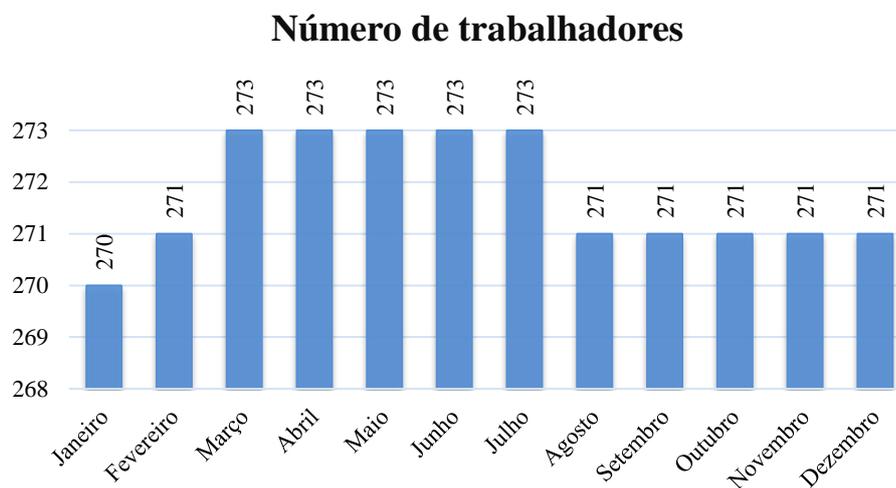


Figura 4 – Número de trabalhadores na empresa Águas de Coimbra.

Pela análise da Figura 5 conseguimos observar como é feita a distribuição dos trabalhadores pela sua faixa etária e pelo seu género.

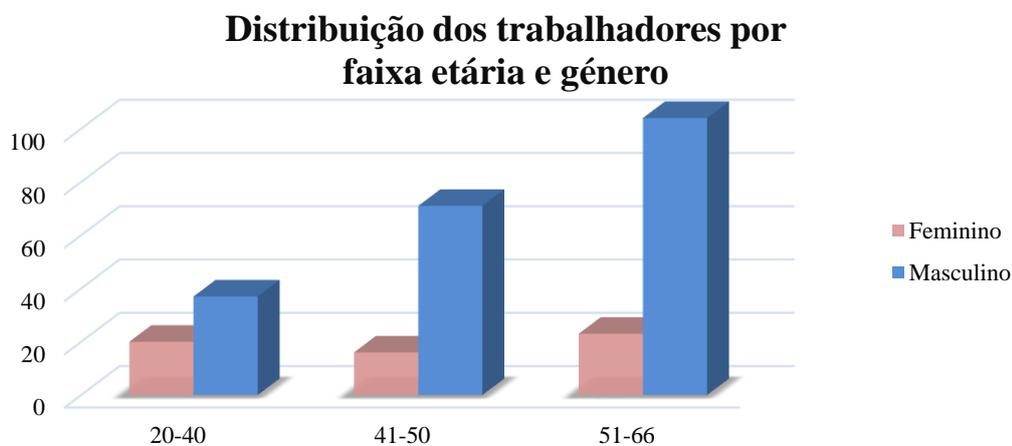


Figura 5 – Distribuição dos trabalhadores por faixa etária e género.

Com o apoio da Figura 6 conseguimos ver as várias categorias de trabalhadores existentes na empresa AC divididos por género em cada categoria.

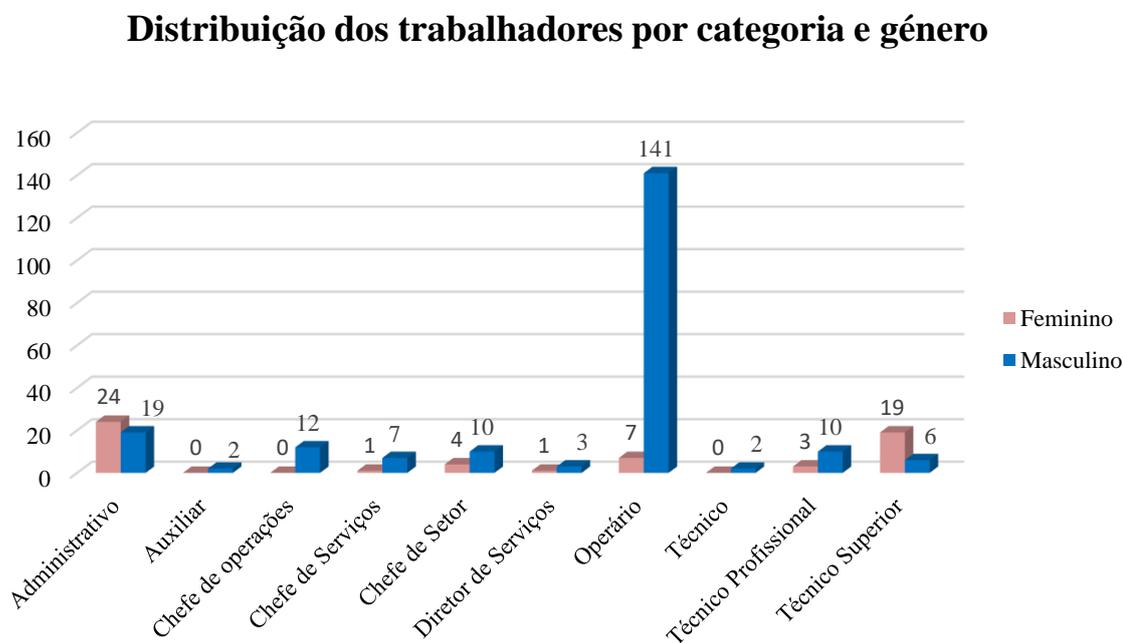


Figura 6 - Distribuição dos trabalhadores por categoria e género.

3. SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

3.1 Sistemas de Drenagem de Águas Residuais

As redes de drenagem de águas residuais são constituídas por redes de coletores podendo drenar águas residuais domésticas, industriais e pluviais. As águas residuais domésticas são derivadas de instalações sanitárias, cozinhas e zonas de lavagem de roupas. Estas caracterizam-se por terem consideráveis quantidades de matéria orgânica, ser facilmente biodegradáveis e manterem as suas características ao longo do tempo. As águas residuais industriais resultam da atividade industrial, caracterizando-se este tipo de águas, pela quantidade de compostos químicos e físicos que afluem das indústrias, em função do tipo de indústria e dos processos de fabrico de cada empresa. As águas residuais pluviais são provenientes do escoamento superficial resultante da precipitação atmosférica, da rega de jardins, lavagem de arruamentos, pátios, em suma, todas as águas que são recolhidas nas sarjetas, sumidouros e ralos.

A fim de evitar inundações, deslizamento de terrenos, arraste de pavimentos, interrupção de trânsito, etc., é necessário construir sistemas de drenagem de águas pluviais com o intuito de impedir escoamentos superficiais nefastos à população (Marques e Sousa, 2011).

3.2 Tipos de Sistemas de Drenagem de Águas

Segundo a regulamentação portuguesa em vigor, Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto - Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR), os sistemas de drenagem de águas residuais podem ser classificados como, separativos, unitários, mistos e separativos parciais ou pseudo-separativos.

Sistemas separativos

Os sistemas separativos, Figura 7, são constituídos por duas redes de drenagem que desempenham funções diferentes. Uma é destinada a escoamento de águas residuais domésticas e industriais e outra destina-se à drenagem de águas pluviais, sem quaisquer interferências de qualquer uma das redes (Marques *et al.*, 2013).

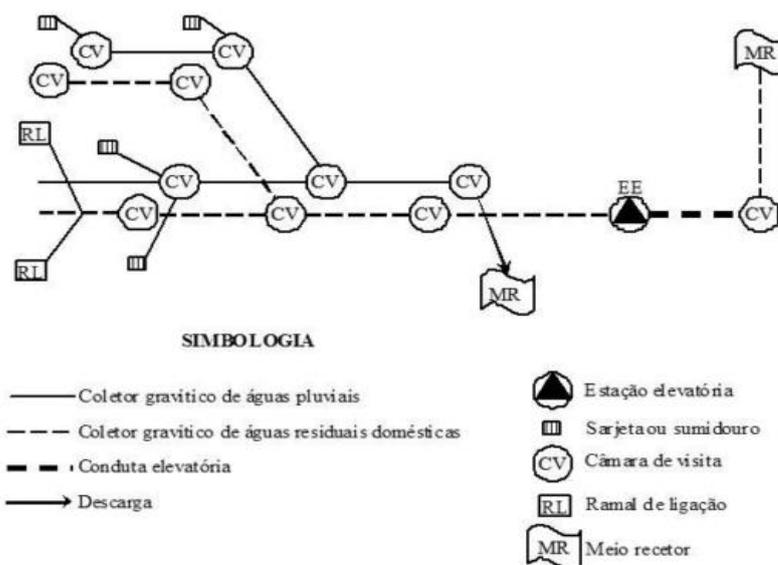


Figura 7 - Representação esquemática de um sistema do tipo separativo (Marques *et al.*, 2013).

Sistemas unitários

O funcionamento dos sistemas unitários resulta numa única rede de coletores, onde são admitidos todos os tipos de águas residuais (pluviais, domésticas e industriais). Este tipo de sistemas tem como função recolher e drenar todo o volume de águas de modo a afastá-las dos aglomerados populacionais. A Figura 8 faz uma representação esquemática deste tipo de sistemas (Marques *et al.*, 2013).

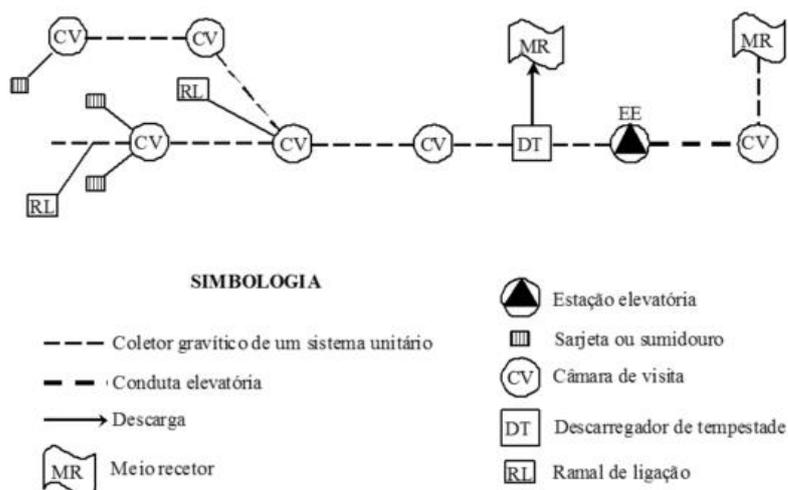


Figura 8 - Representação esquemática de um sistema do tipo unitário (Marques *et al.*, 2013).

Sistemas mistos

Um sistema misto é a conjugação dos dois tipos de sistemas acima mencionados, ou seja, uma parte do sistema é constituído por uma rede unitária e outra por redes separativas (Marques *et al.*, 2013).

Sistemas parciais ou pseudo-separativos

Neste tipo de sistemas não existem coletores pluviais, e por esta razão, são admitidas exceções na ligação de águas pluviais de pátios interiores e terraços ao coletor de águas residuais domésticas (Marques *et al.*, 2013).

Segundo o RGSPPDADAR, o tipo de sistema que se deve utilizar é o separativo.

Os sistemas convencionais separativos são capazes de transportar os efluentes de naturezas distintas por diferentes coletores. Este tipo de sistemas permite, por um lado, que os efluentes estejam sujeitos a diferentes condições de tratamento, mas, por outro lado, apresentam um primeiro investimento elevado uma vez que estão associados à necessidade da instalação de dois tipos de coletores.

Os sistemas convencionais unitários são os mais económicos em relação ao primeiro investimento, pelo facto de ser apenas necessária a construção de um tipo de coletores que transporta o volume total das águas produzidas no meio urbano. No entanto, este tipo de sistemas resulta numa elevada quantidade de descargas poluentes em tempos chuvosos (através de descarregadores de tempestade), o que leva a severos impactos negativos no ambiente, que representam um acréscimo de gastos de energia, exploração nas estações elevatórias (EE) e de tratamento devido ao excedente de contribuição pluvial, quando comparados com os sistemas convencionais separativos (Marques e Sousa, 2011).

3.2 Componentes dos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas

Os sistemas de drenagem de águas residuais separativos e unitários contêm um conjunto de componentes principais que são constituídos por vários órgãos de ligação e acessórios. Nos órgãos de ligação inserem-se os ramais de ligação, coletores, interceptores e emissários. Os órgãos acessórios incluem as câmaras de visita, câmaras de corrente de varrer, descarregadores de tempestade, sifões invertidos e instalações elevatórias (Marques e Sousa, 2011).

3.2.1 Órgãos de ligação

Coletor principal

O coletor principal, Figuras 9 e 10, tem como objetivo a drenagem da água residual, provinda dos coletores secundários até às estações elevatórias ou estações de tratamento. Os diâmetros destes elementos são definidos com base no caudal de projeto e inclinação a que será implantado, cumprindo todas as regras de implementação regulamentadas (Marques e Sousa, 2011).



Figura 9 - Coletor em betão armado (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2004).



Figura 10 - Execução de um coletor em Polipropileno Corrugado (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2013).

Intercetores

Um intercetor é um coletor que recebe ao longo do seu curso, as águas residuais de redes de coletores, podendo receber ligações prediais diretas. Estes são vulgarmente situados junto aos cursos de água.

Emissários

Os emissários têm apenas função de transporte não recebendo qualquer contribuição de outros coletores ao longo do seu percurso. Na Figura 11 está representada a execução de um emissário na zona de Coimbra.



Figura 11 - Execução de um emissário (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2009).

Ramais de ligação

O principal objetivo dos ramais de ligação é a ligação das redes prediais às redes públicas de drenagem, podendo haver coletores domésticos e pluviais. O traçado dos ramais de ligação deverá ser constituído por troços retilíneos. Estes devem ser ligados às câmaras de visita que estão implantadas na rede pública ou inseridos nos coletores utilizando forquilhas, desde que o ângulo de incidência seja menor ou igual a $67^{\circ} 30'$ no sentido do escoamento para evitar que haja conturbações na lâmina líquida. Pelas Figuras 12 e 13 podemos observar as inserções dos ramais de ligação na rede de drenagem.

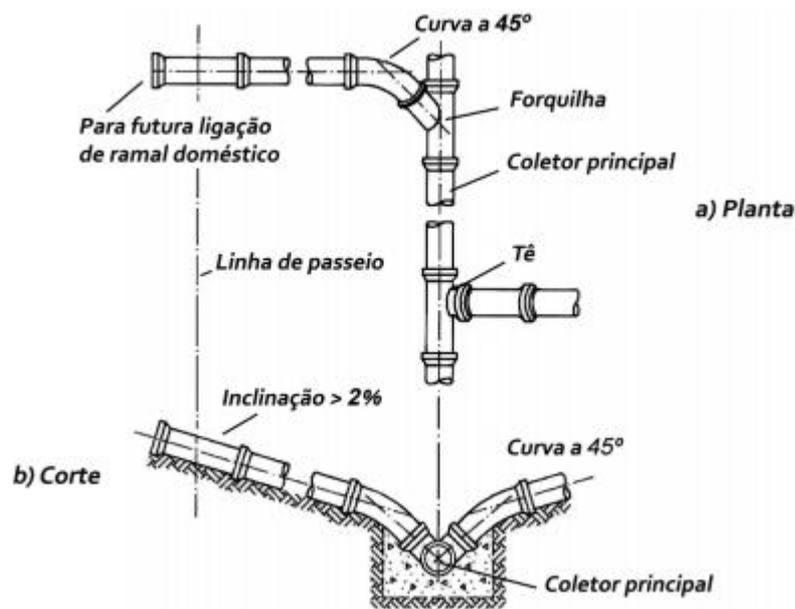


Figura 12 – Inserção dos ramais de ligação na rede de drenagem por meio de uma forquilha simples (Martins, 2013)

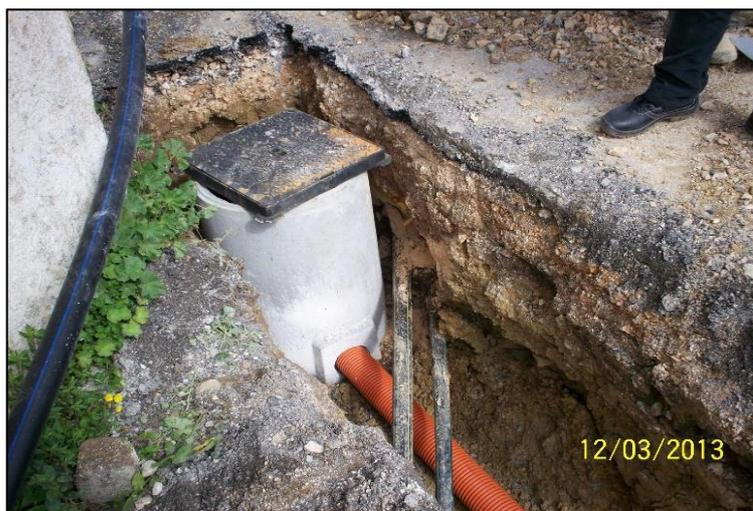


Figura 13 – Execução de um ramal de ligação (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2013).

3.2.2 Órgãos acessórios

Câmaras de visita

As câmaras de visita, Figuras 14 e 15, são os dispositivos que estão inseridos, em maior número, na rede de drenagem de águas residuais. Estas permitem o acesso aos coletores para facilitar a manutenção dos mesmos, uma possível reabilitação e inspeção. Que conjuntamente mantêm boas condições de segurança e eficiência, a remoção de obstruções e a verificação da qualidade das águas residuais. O diâmetro dos coletores de redes de drenagem que estão inseridos nas câmaras de visita pode ir até 600 mm.

Normalmente estes dispositivos são executados “*in situ*” em betão. Segundo o RGSPDADAR devem-se seguir algumas regras na instalação de coletores nas redes de drenagem residuais tais como: é obrigatório as câmaras de visita estarem na confluência dos coletores, nos pontos de mudança de direção, de inclinação e diâmetro dos coletores, os alinhamentos retos não devem exceder os 100 m de comprimento se os coletores forem visitáveis e 60 m se forem não visitáveis.

Existem vários tipos de câmaras de visita, retangulares ou circulares, com cobertura plana ou troncocónica assimétrica com geratriz vertical. Também podem ser centradas ou descentradas em relação ao alinhamento do coletor, sendo que as câmaras descentradas permitem ao pessoal especializado um melhor acesso. São vários os elementos que as constituem, tais como a soleira, o corpo, a cobertura, o dispositivo de acesso e, por fim, o dispositivo de fecho resistente (Marques e Sousa, 2011).



Figura 14 – Execução de uma câmara de visita (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2009).



Figura 15 – Interior de câmara de visita (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2014).

Câmaras de corrente de varrer

As câmaras de corrente de varrer, Figura 16, são elementos que são utilizados nas redes de coletores de águas residuais domésticas, têm como finalidade, a remoção de sedimentos que ficam depositados nos coletores quando os caudais escoados não são suficientemente elevados para a água poder escoar os sedimentos que ficam detidos nos coletores ou quando os declives são pouco acentuados. As câmaras podem ser manuais ou automáticas, dependendo da forma como se efetuam as descargas (Marques e Sousa, 2011).

Segundo o artigo 161º do Decreto Regulamentar nº 26/95 entende-se que:

- *“As câmaras de corrente de varrer são dispositivos que não carecem de ser instalados nos novos sistemas e que têm sido utilizados nas antigas redes de coletores de águas residuais tendo em vista garantir as condições de autolimpeza.*
- *Estas câmaras não devem, por razões de ordem sanitária, possuir qualquer ligação direta com a rede de distribuição de água potável, fazendo-se o seu enchimento por mangueira ou dispositivo equivalente.”*

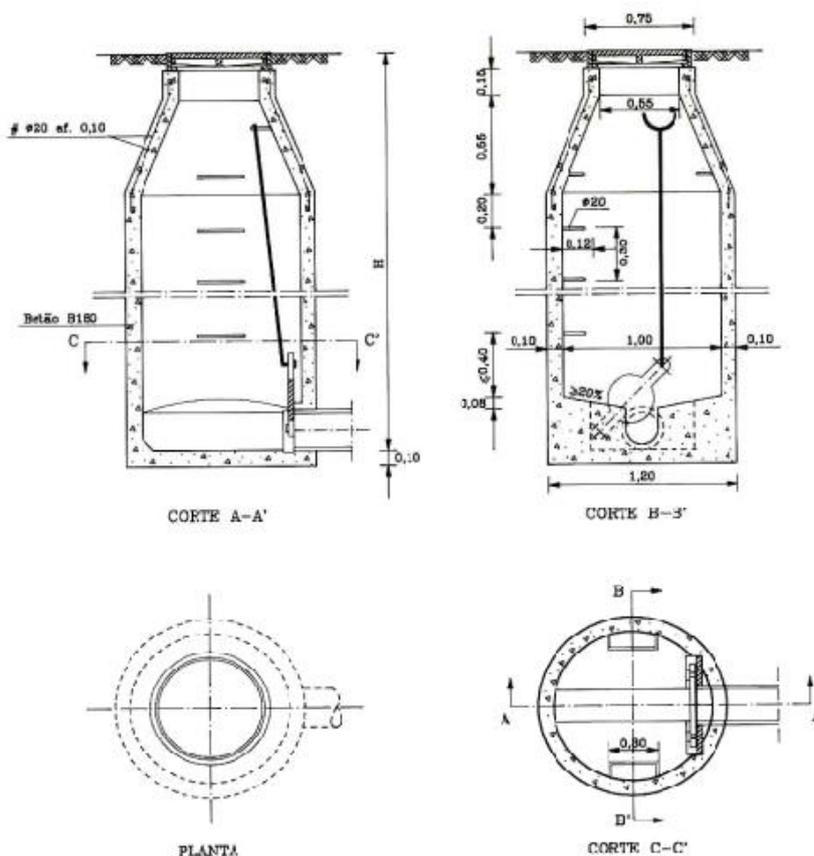


Figura 16 – Câmara corrente de varrer (Sousa e Monteiro, 2005).

Descarregadores de tempestade

Os descarregadores de tempestade, Figuras 17, 18 e 19, são elementos acessórios existentes nas redes de drenagem do tipo unitário ou misto que têm como função a descarga de caudais que excedem seis vezes o caudal médio de tempo seco, segundo o artigo 168º do RGSPDADAR. Estes caudais podem ser combinados com caudais de águas residuais domésticas e industriais. Este tipo de elemento tem como finalidade a descarga de caudais em alguns pontos seleccionados de forma a que os coletores a jusante e a Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) não fiquem sobredimensionados (Marques e Sousa, 2011).

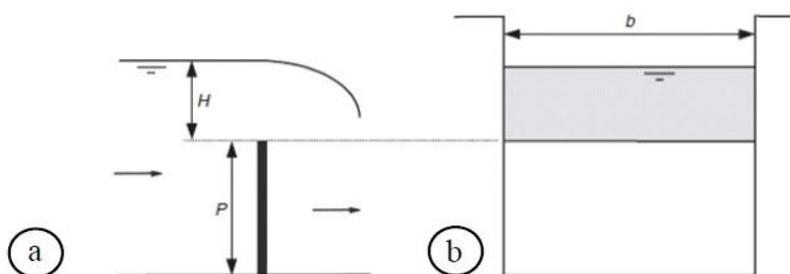


Figura 17 – Descarregador transversal retangular: a) corte lateral; b) corte transversal (Girão, 2013).



Figura 18 – Descarregador de tempestade - jusante da Casa do Sal, Coimbra (Girão, 2013).



Figura 19 – Descarregador de tempestade - montante da Casa do Sal, Coimbra (Girão, 2013).

Sifões invertidos

Os sifões invertidos são órgãos muito vulneráveis aquando da existência de sólidos suspensos transportados pelo escoamento das águas pluviais ou mesmo domésticas. Este fenómeno é mais comum em períodos noturnos, quando a tensão de arrastamento do escoamento não é o suficiente para garantir a autolimpeza da tubagem. São órgãos que estão inseridos em um ou mais trechos com escoamento gravítico sob pressão (Instituto Técnico de Lisboa).

Instalações elevatórias

A fim de instalar uma estação elevatória tem de se ter em consideração alguns aspetos importantes visto tratar-se de um órgão importante e vulnerável: deve ter-se em atenção a sua localização, conceção, dimensionamento e escolha dos equipamentos.

A localização das instalações elevatórias é um dos aspetos mais importantes, pois têm de estar perto de fontes de energia elétrica e de abastecimento de água. Caso haja uma linha de água próxima de alguma estação elevatória, em caso de avaria ou falta de energia poderão existir descargas das águas residuais transportadas pelos coletores.

As estações elevatórias são constituídas por vários componentes, tendo como principais: a obra de entrada, o poço de bombagem, grupos elevatórios, tubagens e acessórios e também equipamentos de proteção, comando e controlo.

No Quadro 4 podemos identificar as várias componentes das estações elevatórias e respetivas funcionalidades. E na Figura 20 apresenta uma estação elevatória. (Instituto Técnico de Lisboa).

Quadro 4 – Componentes das estações elevatórias (Instituto Técnico de Lisboa).

Componentes do Sistema	Designação
Obra de entrada	É constituída por uma câmara de grades com os seus equipamentos adequados. Estas podem ser finas, médias ou grossas. Caso seja necessário, também poderá ter desarenadores e desengorduradores.
Poço de bombagem	Também designado por câmara de aspiração, deve ter em conta os riscos de acumulação de sedimentos. As dimensões desta são determinadas segundo o número de grupos e do caudal bombeado por cada um. A câmara deve ser construída de forma a que se permita um fácil acesso para facilitar operações de limpeza e de inspeção.
Grupos elevatórios	A instalação de grupos elevatórios depende de vários fatores, como por ex. da variação diária de caudal, da variação de caudal médio ao longo do ano e ao longo do horizonte de projeto da obra, dos limites de velocidade considerados aceitáveis para a conduta elevatória e os custos de instalação e exploração.
Tubagens e acessórios	No interior das estações é recomendado que seja colocada tubagem de ferro fundido com uniões de flange, pois é mais resistente ao ataque que as águas residuais provocam. Devem ser ligadas por flange de modo a garantir a estanquidade e de modo a possibilitar a montagem e desmontagem.
Equipamentos de proteção, comando e controlo	Os equipamentos de proteção são compostos por elementos de arranque, betoneiras e contadores, por dispositivos de proteção, nomeadamente disjuntores, fusíveis e relés térmicos e, finalmente, por automatismos que correspondem ao esquema de funcionamento adotado.



Figura 20 – Estação elevatória (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2011).

3.2.3 Dispositivos de entrada

Para um eficiente funcionamento da rede de drenagem pluvial é essencial um bom desempenho dos órgãos de entrada. Os órgãos de entrada são dispositivos que permitem a captação das águas pluviais escoadas superficialmente, a ligação destes deve ser feita através de ramais de ligação e as suas respetivas caixas (Marques *et al.*, 2013).

Normalmente a água que esco superficialmente ao longo do traçado da estrada é captada por dois dispositivos, as sarjetas e os sumidouros, Figuras 21 e 22. Segundo o RGSPDADAR as sarjetas são dispositivos instalados lateralmente na via pública que recebem praticamente toda a água existente na mesma. Os sumidouros são de maior dimensão que as sarjetas e implicam a colocação de uma grade que permite a entrada do escoamento pluvial, sem interferir com a circulação de tráfego, pois estes são implantados no pavimento da via pública (Marques *et al.*, 2013).



Figura 21 – Sumidouro na Rua Alameda Marquesa de Pomares, Coimbra.



Figura 22 – Sarjeta de dupla entrada na Rua António Augusto Gonçalves, Coimbra.

3.3 Drenagem Urbana – Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis

Com o aumento da população, dos seus consumos e da expansão urbana e alterações climáticas nos últimos tempos, o ciclo hidrológico tem vindo a mudar. É por isso necessário tomar medidas preventivas, nomeadamente em relação ao escoamento das águas provenientes das chuvadas – águas pluviais.

Ao longo dos anos, a crescente urbanização tem levando a um aumento significativo da área impermeável o que faz com que haja uma diminuição do caudal infiltrado e, consequentemente, o aumento do caudal à superfície, o que dá origem a alterações no escoamento dos cursos de água naturais, como se pode observar na Figura 23.

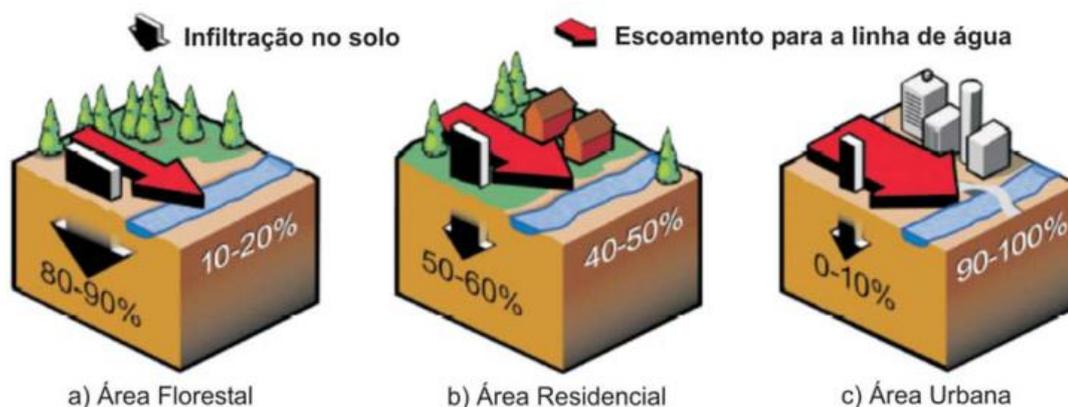


Figura 23 – Alterações hidrológicas consequentes do crescimento urbano (Mata-Lima *et al.*, 2007)

Há vários problemas associados ao crescimento da urbanização, desde o aumento do caudal escoado e diminuição do caudal infiltrado, até o aumento da poluição e sedimentos que este transporta. Enquanto que até à uns tempos atrás o objetivo era apenas encaminhar a água para as redes de drenagem, com o avançar da sociedade e das suas preocupações, quer a nível urbano, de saúde pública e ambiental, veio-se a comprovar ser necessário analisar algumas metodologias para a estimativa de caudais pluviais – que é analisada no subcapítulo seguinte – e ter especial atenção ao dimensionamento de órgãos urbanos de drenagem para que haja uma melhor eficácia da rede de drenagem conjugada com a organização do crescimento populacional e urbano e da ocupação do solo. Na Figura 24 é apresentado um hidrograma que mostra a variação do caudal de ponta, Q_p , nas condições naturais, na condição de urbanização e após serem implementadas as medidas corretivas.

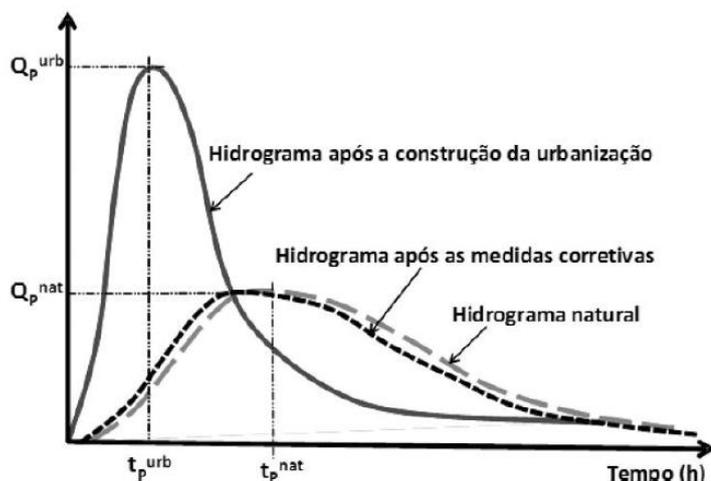


Figura 24 – Hidrograma: natural, após a construção da urbanização e após as medidas corretivas (Lima *et al.*, 2013).

Todos estes problemas deram origem à criação de alternativas aos métodos convencionais de drenagem de águas pluviais, os chamados sistemas urbanos de drenagem sustentáveis – SUDS. Os principais objetivos dos SUDS relacionam várias áreas distintas: saúde pública; impactos da urbanização; escoamento superficial; prevenção de inundações; encaixe paisagístico e de biodiversidade; etc.

No entanto, todas estas medidas e a escolha do sistema adequado a cada situação tem de ir ao encontro das condições da água, da viabilidade económica da sua implantação e tem de haver uma aceitação social de forma a melhorar significativamente a zona em questão relativamente à drenagem das águas pluviais. Entre as várias medidas enquadradas nos SUDS, e segundo vários autores, as mais comuns são as bacias de retenção, Figuras 25 e 26, trincheiras de infiltração, telhados verdes, pavimentos permeáveis, etc.

No presente trabalho, e como referido anteriormente, ponderou-se de forma leve a criação de uma bacia de retenção como solução para o escoamento das águas pluviais. Entenda-se por bacia de retenção uma infraestrutura com o objetivo de “armazenar água proveniente da chuva, atuando como reguladora de caudal a jusante da mesma, isto porque permite a restituição do caudal a jusante consoante os limites da rede existentes” (Matias, 2006).



Figura 25 – Bacia de retenção (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2017).

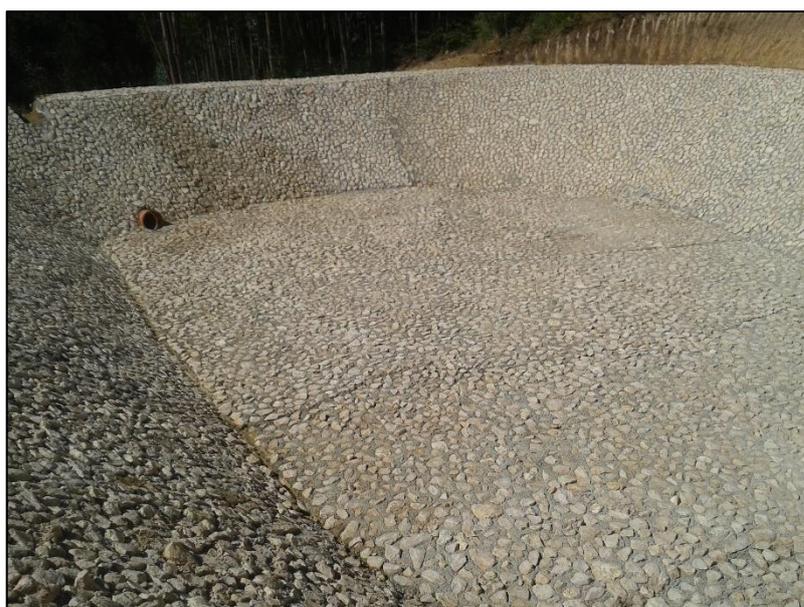


Figura 26 – Bacia de retenção (Fotografia cedida pela Águas de Coimbra, 2017).

Apesar de ter sido uma hipótese colocada, ainda que pouco viável, foi de imediato descartada, uma vez que os valores de precipitação e as características do local não justificariam a implantação de tal medida.

3.3.1 Caudal de águas pluviais

O processo de transformação da precipitação atmosférica em escoamento de águas pluviais é um processo complexo. Consegue-se quantificar o caudal que a água da chuva deu origem através de alguns dados, tais como a área da bacia a drenar, a intensidade das chuvas que se deduz de uma análise de dados pluviométricos e da frequência das chuvadas intensas e, por fim, o coeficiente de escoamento.

Existem alguns parâmetros que podem influenciar o caudal escoado, tais como a rugosidade, a permeabilidade da superfície, a forma, a extensão, a pendente, o tipo de vegetação e a capacidade de embebição da bacia. Por outro lado, também tem influência a intensidade da chuvada, a duração da mesma e a variação de intensidade de um determinado ponto da bacia para outro da mesma bacia. As partes impermeáveis da bacia e a parte abrangida por vegetação também são alguns dos fatores mais importantes para a determinação do caudal escoado na bacia (Marques e Sousa, 2011).

No método racional (equação 1.1), a precipitação é transformada em caudal, admitindo que a chuvada tem intensidade constante sobre toda a área da bacia. O valor do caudal, neste método depende então da intensidade do evento com intensidade de precipitação I , da área da bacia A e do coeficiente de escoamento C (associado às características da bacia).

$$Q = C \cdot I \cdot A \quad (1.1)$$

De acordo com o artigo 129.º do RGSPDADAR, o coeficiente de escoamento C é a razão entre a precipitação útil, ou seja, a que dá origem a escoamento na rede, e a precipitação efetiva, que é a que cai dentro da bacia.

Na Figura 27 são apresentados variados coeficientes de escoamento, cada um associado a um tipo de ocupação do solo. É muito importante que a escolha destes fatores seja plausível e ponderada. Estes valores estão associados a períodos de retorno entre os 5 e 10 anos.

Tipo de ocupação	C
Comercial	
no centro urbano	0,70 - 0,95
nos arredores	0,50 - 0,70
Residencial	
habitações unifamiliares	0,30 - 0,50
prédios isolados	0,40 - 0,60
prédios geminados	0,60 - 0,70
suburbano	0,25 - 0,40
Industrial	
pouco denso	0,50 - 0,80
muito denso	0,60 - 0,90
Parques e cemitérios	0,10 - 0,25
Campos de jogos	0,20 - 0,40
Tipo de superfície	C
Pavimento	
asfáltico	0,70 - 0,95
betão	0,80 - 0,95
Passeios para peões	0,85
Coberturas (telhados)	0,75 - 0,95
Relvado sobre solo permeável	
plano < 2%	0,05 - 0,10
médio, 2% a 7%	0,10 - 0,15
inclinado > 7%	0,15 - 0,20
Relvado sobre solo impermeável	
plano < 2%	0,13 - 0,17
médio, 2% a 7%	0,18 - 0,22
inclinado > 7%	0,25 - 0,35

Figura 27 – Coeficientes de escoamento (Sousa, 2012).

3.3.2 Curvas Intensidade-Duração-Frequência

Segundo o Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto, artigo 128º, é necessário fazer-se o estudo relativamente às águas pluviais e para isso recorre-se às curvas intensidade-duração-frequência (I-D-F). Estas curvas representam os valores das intensidades médias máximas da precipitação para diversas durações e diferentes períodos de retorno.

As curvas intensidade-duração-frequência representam a relação entre a intensidade de precipitação e a associação a um período de retorno. (Pereira *et al.*, 2001). A intensidade é a relação entre a intensidade de precipitação e sua respetiva duração, sendo a duração o tempo da chuvada e a frequência a ocorrência de precipitação num determinado número de anos (Martins, 2000). Estas podem ser obtidas a partir da análise das estatísticas e de registos pluviométricos durante uma determinada quantidade de anos. Caso não se consiga obter estes registos recorrem-se a curvas de intensidade-duração-frequência existentes que são consideradas para três tipos de regiões, a região pluviométrica A, a região pluviométrica B e a região pluviométrica C (Marques e Sousa, 2011). Na Figura 28 podemos observar os vários parâmetros e respetivos valores para cada região considerando vários períodos de retorno.

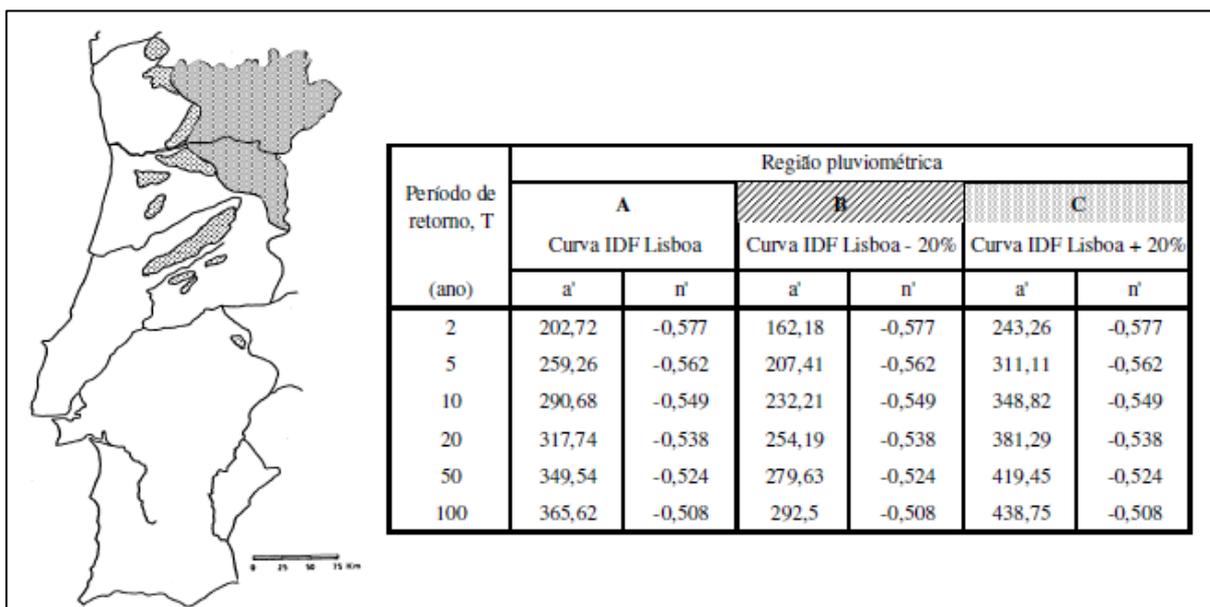


Figura 28 – Regiões pluviométricas das curvas intensidade-duração-frequência (adaptado do Anexo IX do Decreto Regulamentar n.º 23/95, 1995).

Neste tipo de curvas a intensidade média de precipitação pode ser calculada através da seguinte expressão,

$$I = a \cdot t^b \quad 1.2$$

em que a intensidade média de precipitação, I , se apresenta em milímetros por hora (mm/h), e a duração, t , em minutos (min). De notar que o tempo de duração da chuvada não deverá exceder os 120 minutos.

3.3.3 Tempo de concentração

Por definição, o tempo de concentração de uma bacia numa determinada secção de um curso de água é o tempo que a bacia leva para contribuir na sua totalidade para o escoamento superficial nessa secção, ou seja, é o tempo necessário para que uma gota de água que cai no ponto hidráulicamente mais afastado da bacia de drenagem consiga chegar à secção em estudo (Martins, 2000).

O tempo de concentração é um dos mais importantes fatores a determinar nos métodos para a estimativa dos caudais em linhas de água inseridas nas bacias urbanas.

Existem três acontecimentos que são possíveis presumindo um determinado tempo de concentração, t_c , para a bacia e supondo que a duração da chuvada crítica é t_p :

- Caso o tempo de precipitação seja superior ao tempo de concentração ($t_p > t_c$) e admitindo que a intensidade da chuvada se mantém constante durante o tempo de precipitação em toda a área da bacia em estudo, conseguimos observar que o caudal nesta mesma secção até ao final do tempo de concentração vai aumentando. No início da chuvada só uma pequena parte da bacia está a contribuir para o caudal. Quando o caudal é máximo diz-se que se chegou ao tempo de concentração da bacia, mantendo-se máximo durante o período correspondente a $t_p - t_c$. A determinada altura o caudal começa a diminuir, anulando-se após um período igual a $t_p + t_c$ (Marques e Sousa, 2011). Podemos observar este fenómeno na Figura 29.

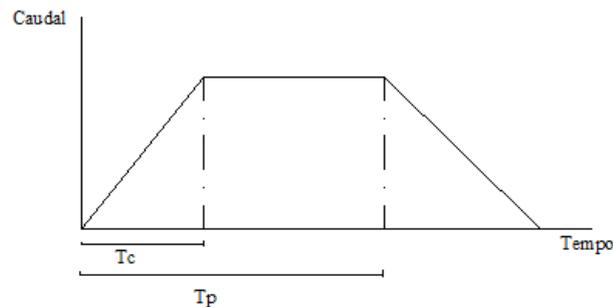


Figura 29 – Hietograma quando $t_p > t_c$ (Marques e Sousa, 2011).

- Quando o tempo de precipitação é igual ao tempo de concentração ($t_p = t_c$) o caudal máximo é atingido quando toda a bacia está a contribuir, ou seja, no instante t_c , começando a diminuir para valores de tempo superiores a t_p , como se ilustra na Figura 30.

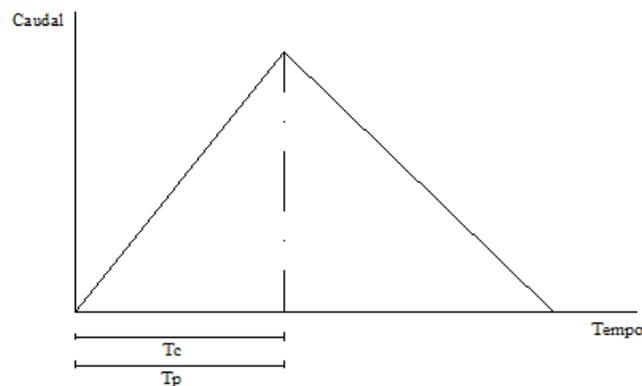


Figura 30 – Hietograma quando $t_p = t_c$ (Marques e Sousa, 2011).

- No caso de $t_p < t_c$ o caudal máximo é atingido ao fim do tempo de precipitação, estando só uma parte da bacia a contribuir, como se ilustra na Figura 31.

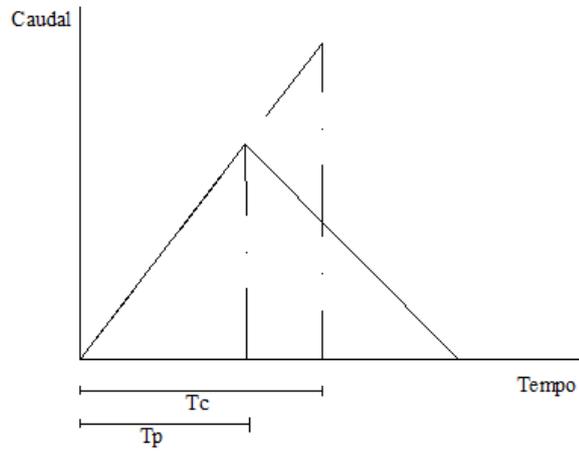


Figura 31 – Hietograma quando $t_p < t_c$ (Marques e Sousa, 2011).

4. DOCUMENTO DE ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM DA BACIA DO RIO CÉRTOMA

4.1 Descrição da bacia

Na União de freguesias de Souselas e Botão situa-se parte da Bacia do Rio Cértoma, sendo a restante área da Bacia situada no concelho da Mealhada. Na Figura 33 pode-se observar a localização da bacia do Rio Cértoma com a bacia vizinha. Esta faz fronteira com a Bacia do Rio dos Fornos no concelho de Coimbra, Figura 32. A Bacia tem aproximadamente 13 km² de área e um perímetro de 17.7 km.

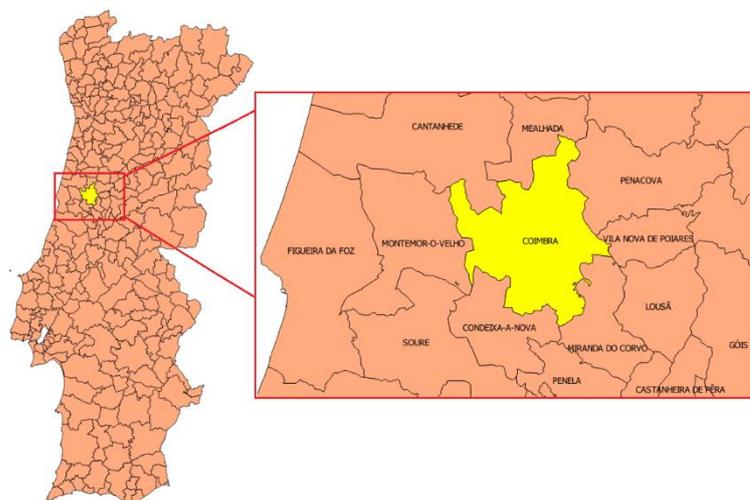


Figura 32 – Localização geográfica do Concelho de Coimbra (Imagem cedida pela Águas de Coimbra, 2015).

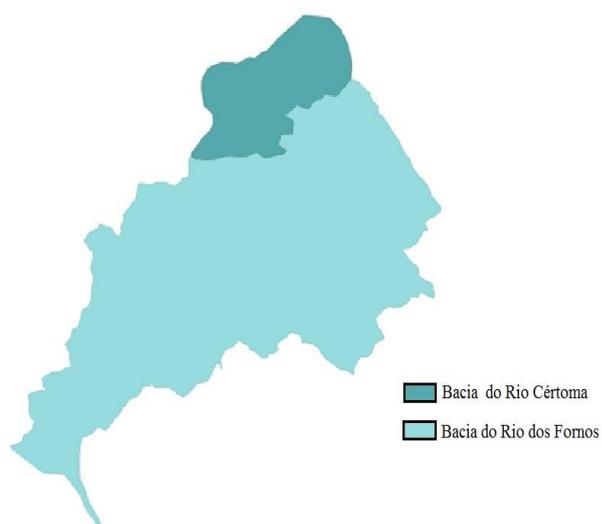


Figura 33 – Localização da Bacia do Rio Cértoma com bacia vizinha (importada do *software* ArcGis).

A área total da União de freguesias de Souselas e Botão em que a Bacia do Rio Cértoma está inserida tem uma área total de 33 km² e a área ocupada pela bacia é de aproximadamente 4.50 km². Na Figura 34, conseguimos observar a parte da bacia que se insere na União de freguesias de Souselas e Botão.

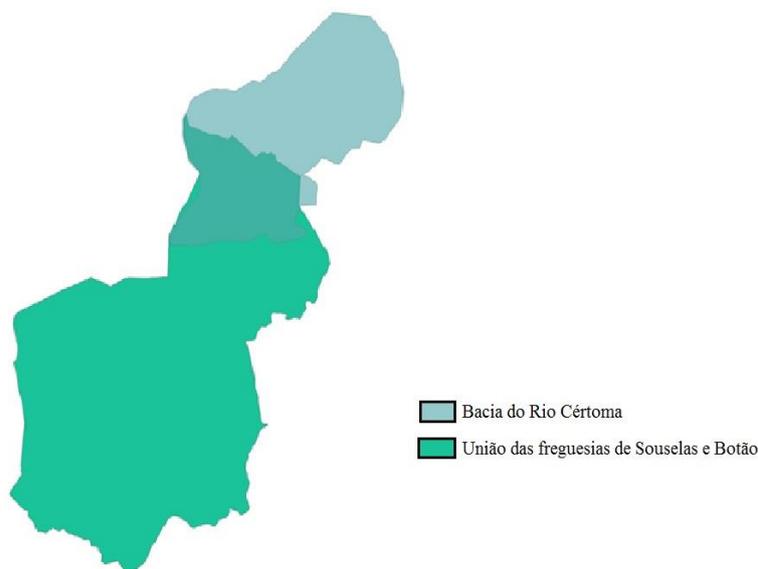


Figura 34 – Localização da Bacia do Rio Cértoma na União de freguesias de Souselas e Botão (importada do *software* ArcGis).

4.1.1 Caracterização físico-geográfica

São várias as características que a Bacia do Rio Cértoma apresenta como podemos verificar pela análise do Quadro 5 abaixo apresentado.

Quadro 5 – Características da Bacia do Rio Cértoma.

Caraterísticas	
Altitude média	154.1 m
Cota máxima	311 m
Cota mínima	88 m
Declive médio da bacia	10.8 %
Percentagem de áreas impermeáveis	12.15 %
Coefficiente médio de escoamento da bacia	0.3
Tempo de concentração	4 h

4.1.2 Ordenamento do território

Pela análise do Plano Diretor Municipal que abrange a Bacia do Rio Cértoma e pela Figura 35 podemos observar que esta é composta maioritariamente por espaços florestais tendo como área cerca de 287 hectares, o que corresponde a 64% da área da bacia. A segunda maior área é de espaços agrícolas com uma área de 109.14 hectares, que correspondem a 24% da área da bacia. Os espaços residenciais ocupam cerca de 53 hectares da bacia, com 12% de ocupação.

Por fim, a restante área é ocupada por equipamentos e infraestruturas, ocupando sensivelmente 2 hectares da área da bacia.

Ordenamento do território da Bacia do Rio Cértoma

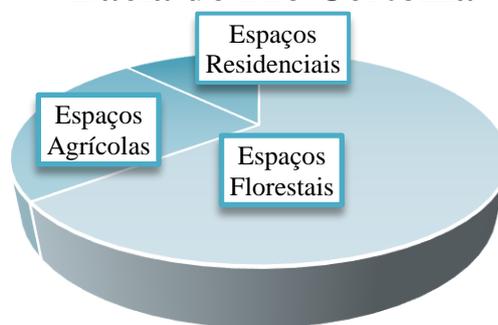


Figura 35 – Ordenamento do território da Bacia do Rio Cértoma.

De modo a orientar a ocupação do solo da Bacia do Rio Cértoma é apresentada na Figura 36 a divisão da bacia tal como é apresentada no Plano Diretor Municipal em vigor.

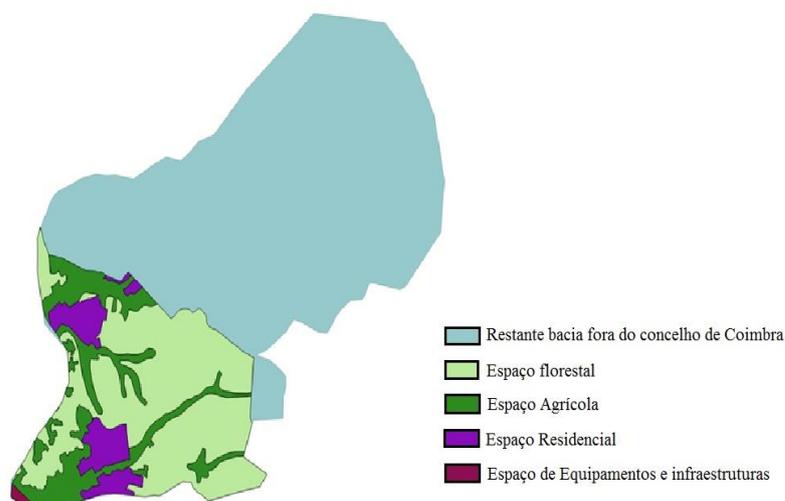


Figura 36 – Plano Diretor Municipal da Bacia do Rio Cértoma (importada do *software* ArcGis).

4.2 Caracterização do sistema de drenagem existente

As águas residuais domésticas da rede de drenagem da Bacia do Rio Cértoma são drenadas através de coletores residuais domésticos do tipo separativo, enquanto que as águas residuais pluviais são drenadas através de linhas de águas naturais, aquedutos e passagens hidráulicas.

4.1.1 Rede de drenagem de águas residuais domésticas

A análise da situação atual da rede de drenagem de águas residuais foi feita utilizando os consumos correspondentes a cada consumidor que tem ligação à rede doméstica no ano de 2013 (considerado como ano 0 no Documento de Análise do Sistema de Drenagem).

A extensão da rede de drenagem doméstica, representada na Figura 37, é de 5.75 quilómetros, mas está previsto um prolongamento desta rede, tanto para abastecimento de água como para a drenagem de águas residuais domésticas.

A análise da situação futura foi elaborada considerando um aumento de 10% dos consumos de água, devido ao aumento do custo da água será feita uma contenção nos gastos da água e considerando que metade das habitações não habitadas em 2013 se encontrarão futuramente habitadas.

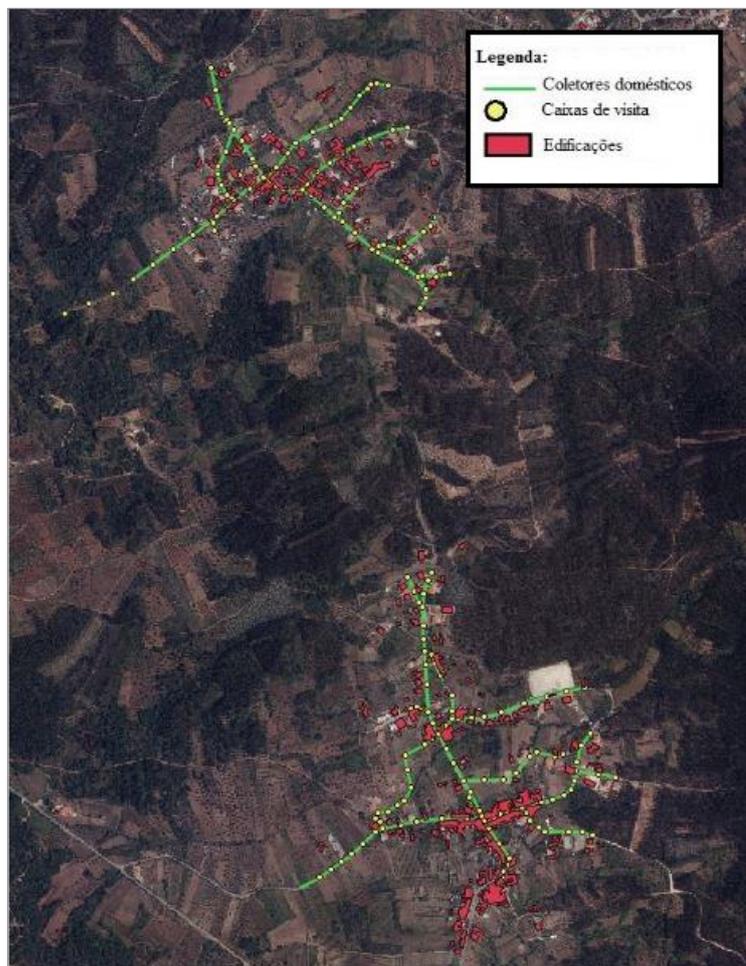


Figura 37 – Rede de drenagem de águas residuais domésticas (importada do *software* ArcGis).

4.1.2 Rede de drenagem de águas residuais pluviais

A análise da rede de drenagem de águas residuais pluviais, representada na Figura 38, foi elaborada com recurso à simulação de eventos pluviométricos com três diferentes períodos de retorno (5, 10 e 20 anos), através do método dos blocos alternados, e com o auxílio das curvas I-D-F, onde são determinados os aumentos de precipitação segundo uma dada curva I-D-F ocorrendo em intervalos de tempo sucessivos.

Atualmente, devido à falta de informação de registos hidrométricos, devem-se associar hietogramas de precipitação para assim permitirem a análise de cheias em bacias hidrográficas.

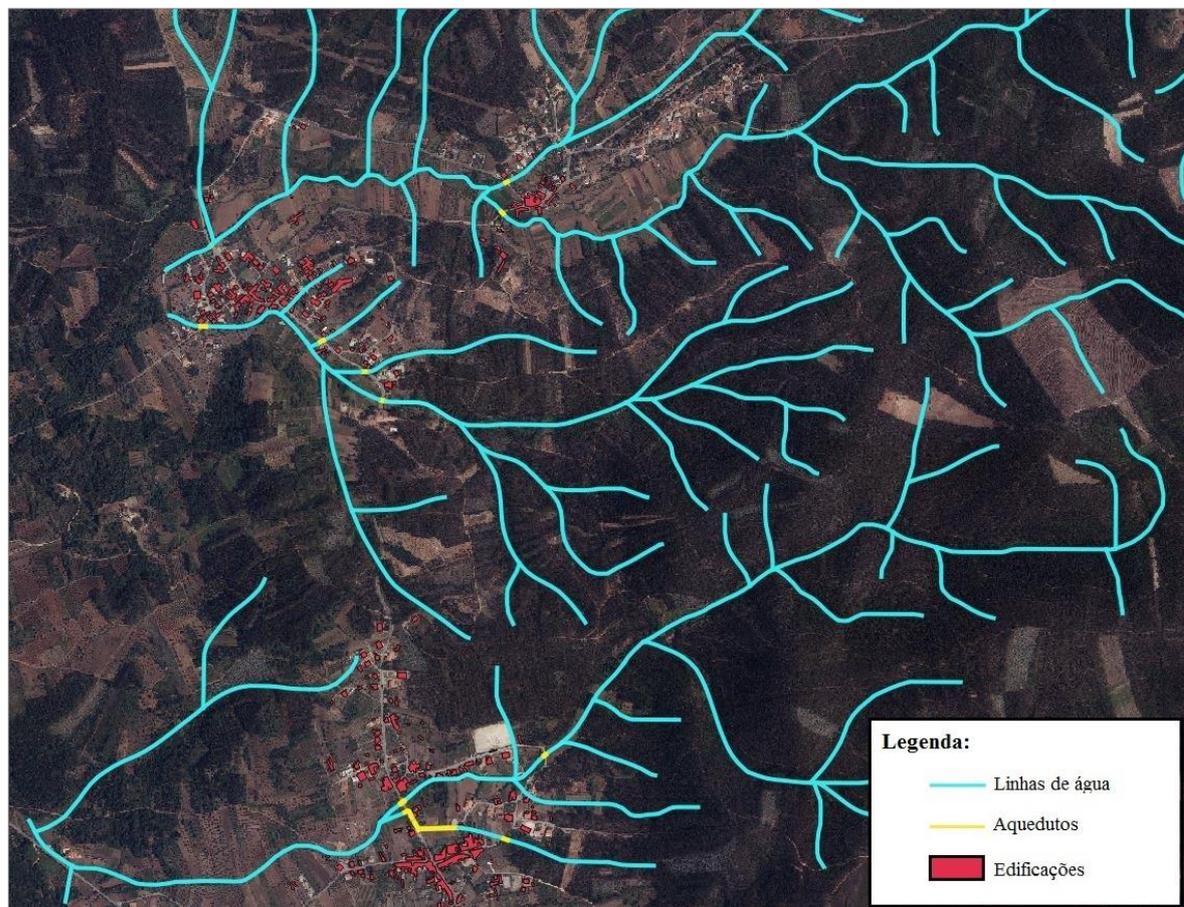


Figura 38 – Rede de drenagem de águas residuais pluviais (importada do *software* ArcGis).

4.1.3 Hietogramas de precipitação

Existem vários modelos baseados nas curvas I-D-F, ilustrados na Figura 39, para efetuar a distribuição temporal da precipitação que está associada aos acontecimentos pluviométricos. Estes analisam as cheias que possam ocorrer na bacia hidrográfica a estudar. Baseando-se numa curva I-D-F é possível fazer a determinação dos incrementos ou parcelas da precipitação. Estes incrementos ocorrem durante sucessivos intervalos de tempo, e com uma duração constante, denominados por Δt . As parcelas de precipitação são organizadas em blocos de precipitação de acordo com um padrão de variação que é estabelecido logo desde início, em que cada parcela de precipitação, ΔP_t , ocorre num determinado intervalo de tempo, Δt , entre dois instantes t e $t + \Delta t$.

O padrão de blocos alternados permite que haja uma maior quantidade de precipitação durante o incremento de tempo que foi considerado, o que ocorre a meio da duração da ocorrência pluviométrica. O resto das parcelas do acontecimento pluviométrico são ordenadas decrescentemente de modo a ficarem em torno do acontecimento do bloco central.

Existem também outros padrões de organização temporal pluviométricos: o padrão de blocos decrescentes e o padrão de blocos crescentes. Estes assim denominados significam que a organização das parcelas de precipitação é feita de forma decrescente e crescente, respetivamente. (Portela *et al.*, 2000).

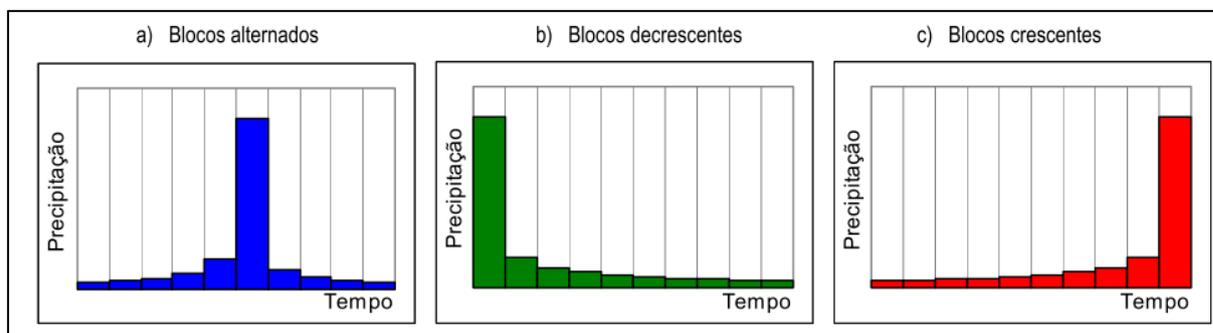


Figura 39 – Tipos de hietogramas de precipitação (Portela *et al.*, 2000).

No documento de análise da bacia do rio Cértoma foram obtidos os hietogramas, representadas nas Figuras 40 e 41, correspondentes a um tempo de concentração igual ao tempo de precipitação para períodos de retorno (T_r) de 5, 10 e 20 anos e também hietogramas para um tempo de precipitação com um tempo de concentração três vezes superior.

Hietograma de precipitação para $t_p = t_c$

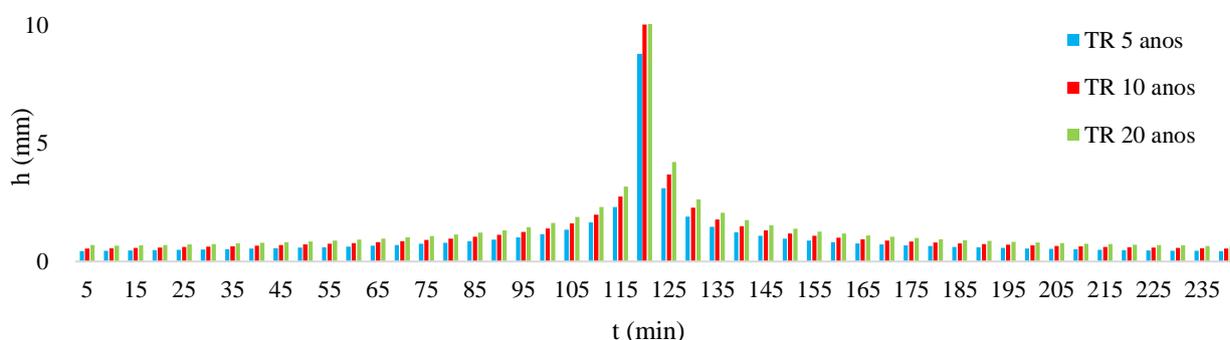


Figura 40 – Hietograma de precipitação quando $t_p = t_c$ para período de retorno de 5, 10 e 20 anos.

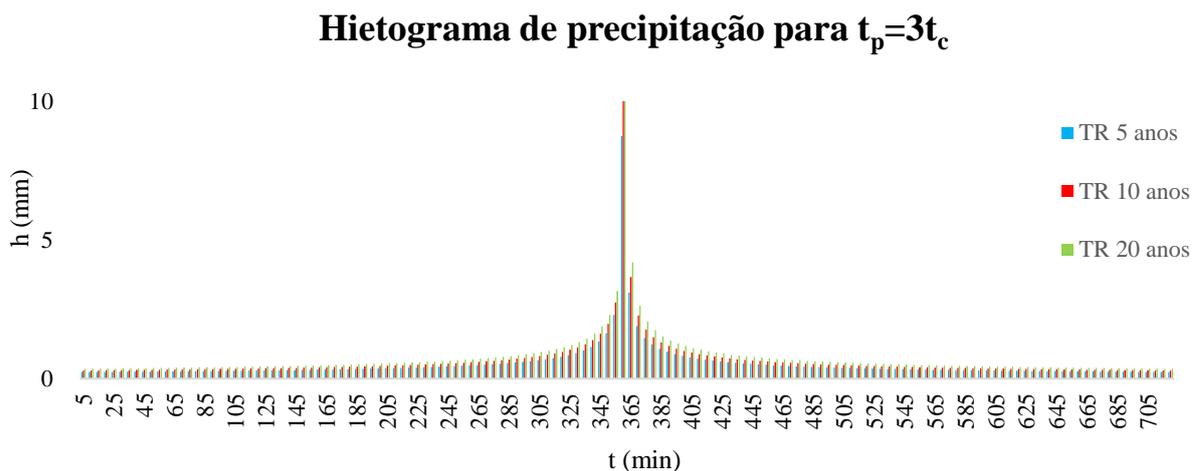


Figura 41 – Hietograma de precipitação quando $t_p = t_c$ para Período de retorno de 5, 10 e 20 anos.

Com a construção de Hidrogramas em S foi possível determinar o tempo de concentração da bacia, através do modelo de cálculo do *software* “*Mike Urban*”, utilizado para a simulação do sistema de drenagem, concluindo então que o tempo de concentração obtido para a Bacia do Rio Cértoma foi de 4 horas.

4.3 Modelação de sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais

Com o aumento das infraestruturas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais em Portugal o mercado viu-se obrigado a investir em meios de para melhorar e executar com maior cuidado o planeamento de redes. A tecnologia veio a revelar-se um pilar fundamental para este planeamento e para a racionalização dos investimentos.

A modelação de sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais é imprescindível, pois esta presta auxílio no planeamento, projeto, operação, manutenção e reabilitação dos sistemas. A modelação consiste na utilização de ferramentas que permitem analisar e prever o comportamento hidráulico e os parâmetros de qualidade da água do sistema, tirando esta informação a partir das características do sistema e da água que nele escoia (Coelho *et al.*, 2006).

Através da simulação podem obter-se algumas conclusões acerca do estado físico da infraestrutura. Com a utilização de um programa informático é possível fazer a simulação de um sistema real através da modelação matemática, conseguindo, assim, verificar o estado do

escoamento no interior das tubagens. Este também pode ser usado para avaliar ou tomar decisões futuras para a reabilitação da infraestrutura.

A simulação inicia-se pela importação dos dados cadastrais, como por exemplo a partir de um *software* de processamento SIG (Sistemas de Informação Geográfica). De seguida recolhe-se a informação relativa à orografia do terreno, como são exemplo as curvas de nível (nestes dados estão incluídos vários elementos importantes para a simulação da rede, tais como as cotas de terreno e de soleira, etc.) e com esta informação é possível elaborar o Modelo Digital de Terreno (MDT), que é importante para representar o terreno e, conseqüentemente, as cotas a que a rede se encontrará (Coelho *et al.*, 2006). Tendo esta informação é possível representar a rede com recurso a um *software* de modelação. Depois disso, são carregados os dados de entrada do sistema (podem ser consumos, p. exemplo., num modelo de distribuição de água ou de drenagem de águas residuais domésticas, ou um evento de precipitação, num modelo de drenagem de águas pluviais) e é simulado o modelo. Após a sua simulação é possível então observar os resultados obtidos, tais como caudais, velocidades de escoamento, altura de água/pressão em determinado nó, etc.

Hoje em dia existem inúmeros modelos matemáticos ligados à hidráulica que permitem simular os mais variados cenários e obter os mais variados resultados, desde parâmetros hidráulicos, como caudais, perdas de carga, etc., a parâmetros de qualidade da água, como oxigénio dissolvido (OD), carência bioquímica de oxigénio (CBO), etc.

4.3.1 Modelação matemática

No presente subcapítulo é apresentada, de forma leve, a importância da utilização de modelos matemáticos no âmbito da hidráulica. No entanto, estes podem ser utilizados em várias áreas como a Matemática, Física, Química, Psicologia, Demografia, etc.

Entenda-se por modelo matemático, ou simplesmente modelo, um “conjunto de equações que representam de uma forma quantitativa, as hipóteses que foram usadas na construção do modelo, as quais se apoiam sobre o sistema real.” E, “tais equações são resolvidas em função de alguns valores conhecidos ou previstos pelo modelo real e podem ser testadas através da comparação com os dados conhecidos ou previstos com as medidas realizadas no mundo real.” No entanto, “as equações matemáticas de um modelo não proporcionam a própria explicação científica do modelo, mas simplesmente interpretam as hipóteses de um ponto de vista

quantitativo, dando-nos a condição de deduzir consequências e mostrar-nos onde estão os detalhes que deverão ser aceites ou recusados.” (Sodré, 2007).

Os modelos podem ser classificados como (Tucci, 1998):

- **Contínuos ou discretos:** nos modelos contínuos os fenómenos são contínuos ao longo do tempo, ou seja, não variam ao longo do mesmo, enquanto que nos modelos discretos há uma variação do fenómeno em intervalos não contínuos;
- **Concetuais ou empíricos:** nos modelos concetuais as funções utilizadas têm em consideração os conceitos físicos relacionados com processos hidrológicos. Nos modelos empíricos nas funções utilizadas não há qualquer relação com os processos físicos envolvidos, sendo que os valores calculados são devidamente ajustados a valores observados;
- **Concentrados ou distribuídos:** a diferença entre estes dois modelos é que os modelos concentrados não têm em conta a variabilidade espacial da bacia e nos modelos distribuídos as suas variáveis e parâmetros dependem do tempo e/ou espaço;
- **Estocásticos ou determinísticos:** nos modelos estocásticos é tida em conta a probabilidade de ocorrência e introduzida no sistema, ou seja, para um mesmo *input* (dados de entrada), o modelo produz diferentes *outputs* (resultados) –. Nos modelos determinísticos, independentemente da probabilidade de ocorrência, para o mesmo *input* o *output* é constante.

Como referido anteriormente, o *software* utilizado para simular a rede no presente trabalho foi o “*Mike Urban*”, que é abordado no subcapítulo seguinte. Este tipo de modelo utiliza valores reais de precipitação ao longo do tempo e tem em conta as características físicas e hidrológicas do espaço que se pretende estudar. Isto classifica o modelo como discreto, em relação à utilização dos dados colocados no sistema, concetual e distribuído, na medida em que tem em conta a variação de vários parâmetros ao longo do tempo e a variação espacial da bacia em estudo.

4.4 Modelação hidráulica com o software “Mike Urban”

O *software “Mike Urban”*, cujo o logotipo se apresenta na Figura 42, é um programa de modelação hidráulica. O programa abrange todas as redes de drenagem de águas de qualquer cidade, incluindo os sistemas de distribuição de água, as redes de drenagem de águas residuais domésticas e as redes de drenagem de águas pluviais.



Figura 42 – Logotipo do *software “Mike Urban”*.

Este programa é utilizado para efetuar o planeamento das redes de drenagem urbanas, planeamento das redes de drenagem para evitar inundações e reduzir os riscos das mesmas, realizar estudos para posterior necessidade de reabilitação das infraestruturas, entre muitas outras possibilidades.

Para conseguir analisar a rede de drenagem da Bacia do Rio Cértoma foi utilizado o *software “Mike Urban”* desenvolvido pela DHI (*Danish Hydraulic Institute*). Com este *software* é possível importar automaticamente a rede e fazer a simulação do comportamento da rede. Antes disso, no entanto, é necessário validar alguns dados de cadastro efetuando levantamentos de dados no terreno, tais como diâmetros e cotas (Site: *Mike Urban*).

Para a elaboração de um Documento de Análise de um Sistema de Drenagem é necessária a verificação e a interpretação dos dados de cadastro, efetuar a simulação hidráulica do sistema, analisar os resultados obtidos e propor soluções para os problemas identificados.

Nas Figuras 43 a 49 demonstra-se como se executa a construção de um modelo utilizando o *software “Mike Urban”*.

a) Importação dos dados do Sistema de Informação Geográfica

O comando *Import/Export* permite importar os dados da rede de drenagem para o para o *software* em questão.



Figura 43 – Módulo de importação de dados do “Mike Urban”.

b) Confirmação/correção de dados com recurso ao cadastro

O módulo *Pipes and Canals* permite colocar o tipo de material dos aquedutos e PH's e respetivos diâmetros.

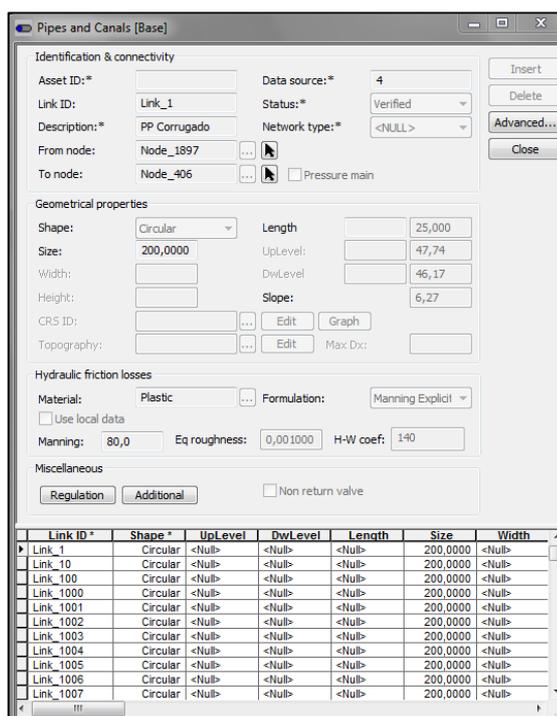


Figura 44 – Módulo de confirmação/correção de dados.

c) Introdução de cotas de soleira e terreno através do Modelo Digital de Terreno

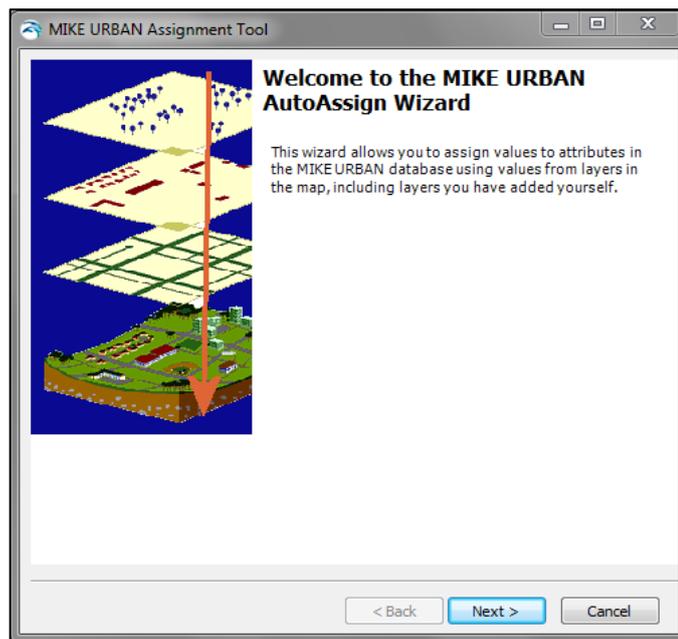
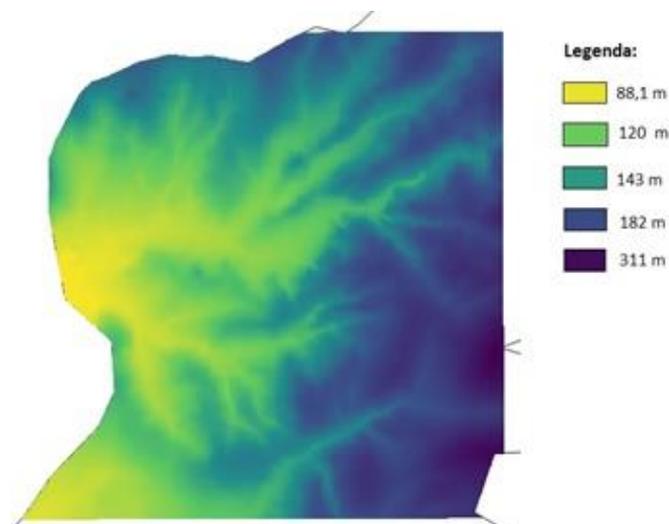


Figura 45 – Módulo de atribuição de cotas de terreno e soleira.

Com a análise do Modelo Digital de Terreno da bacia do rio Cértoma o *software* “*Mike Urban*” é capaz de atribuir automaticamente as cotas de terreno dos coletores.

Figura 46 – Modelo Digital do Terreno da bacia do rio Cértoma (Imagem importada do *software* ArcMap)

d) Introdução de dados de entrada e de condições de fronteira

A introdução de dados de entrada e de condições de fronteira é feita com base nos consumos de água para a rede doméstica e com base em eventos de precipitação para a rede pluvial.

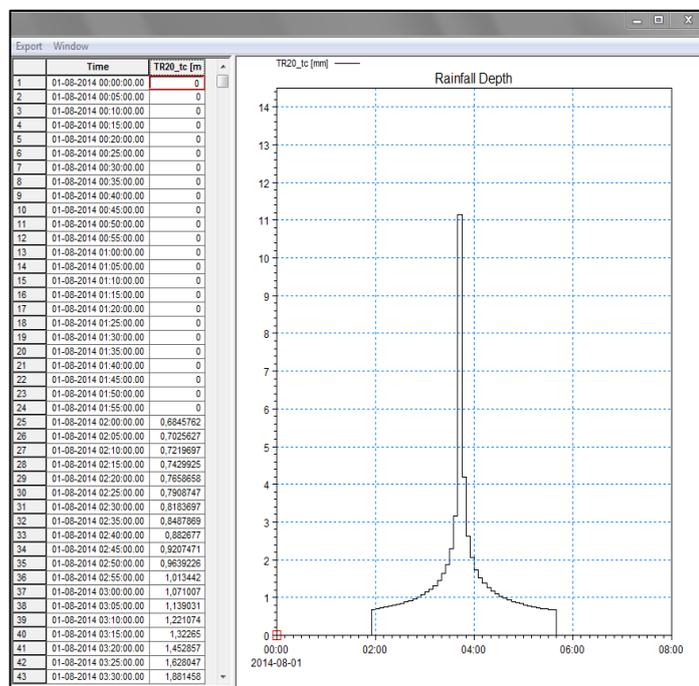


Figura 47 – Modulação de introdução de dados e de condições de fronteira.

e) Simulação

Tendo o modelo concluído, procede-se à simulação para saber qual a reação do sistema aos dados que lhe foram introduzidos.

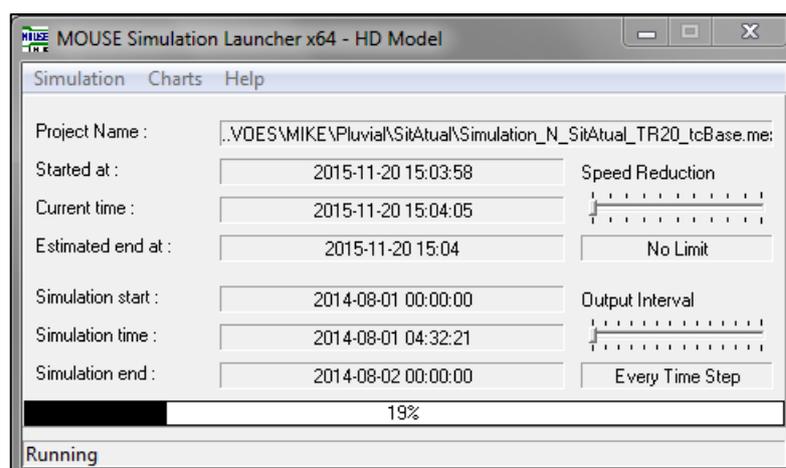


Figura 48 – Módulo de Simulação da rede de drenagem.

f) Análise de resultados

Uma vez concluída a simulação concluída assim é possível analisar os resultados em cada secção, o caudal afluente em cada secção da rede e se os aquedutos ou PH's têm capacidade de escoamento ou não na rede de drenagem de águas pluviais. Na rede de drenagem de águas residuais domésticas também é possível avaliar a capacidade dos coletores.

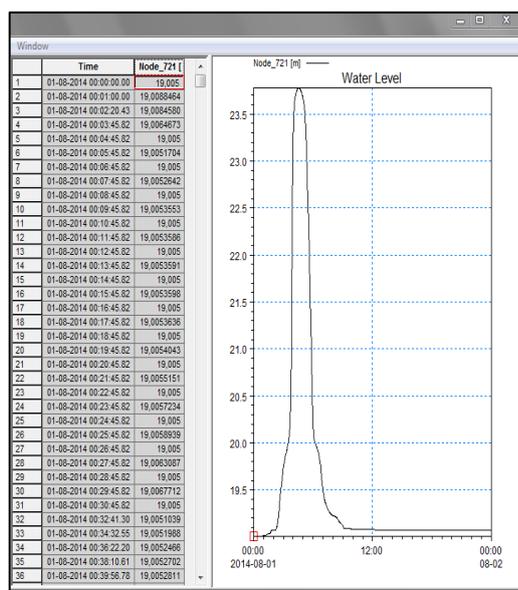


Figura 49 – Análise de resultados da simulação da rede.

5. RESULTADOS

Após a simulação da rede de drenagem a partir do *software* “Mike Urban”, são obtidos os resultados da modelação hidráulica. Resultados estes que nos permitem observar se as infra-estruturas existentes conseguem suportar os caudais estimados, quer os da situação atual, como os da situação admitida como futura. Como referido anteriormente, foi avaliado o sistema de drenagem de águas residuais domésticas, Figura 50, e o de águas pluviais, baseados nas características de cada um. Com estes resultados verifica-se que existem problemas de escoamento das águas pluviais em alguns aquedutos da rede.

Para a obtenção das conclusões finais, que vão de encontro aos objetivos deste documento, foi necessário proceder à verificação do normal funcionamento do sistema, isto é, a inexistência de problemas a nível do escoamento. Foi necessário verificar se o caudal escoado em cada secção ultrapassaria a capacidade máxima do escoamento.



Figura 50 – Rede de drenagem de águas residuais domésticas (Imagem cedida pela Águas de Coimbra, 2017).

Na avaliação do sistema de drenagem de águas residuais domésticas verificou-se não haver problemas relacionados com o escoamento da água nos coletores, quer na simulação da situação atual, quer na da situação futura. Mas, é de referir que através de trabalhos de inspeção já realizados pela AC, foram detetados três troços de coletores em más condições estruturais que carecem de intervenção.

Para estes coletores em mau estado foi proposta a sua remodelação e posterior repavimentação. Para isto foi estimado, para um comprimento de 162 metros e uma secção de 200 mm, já com repavimentação, um custo de 18 550,00€.

Em relação ao estudo do sistema de drenagem das águas pluviais foram estudados treze aquedutos, denominados por S1 a S13, como se pode verificar na Figura 51 e para cada caso verificado se a as suas dimensões seriam adequadas para escoar os caudais estimados.

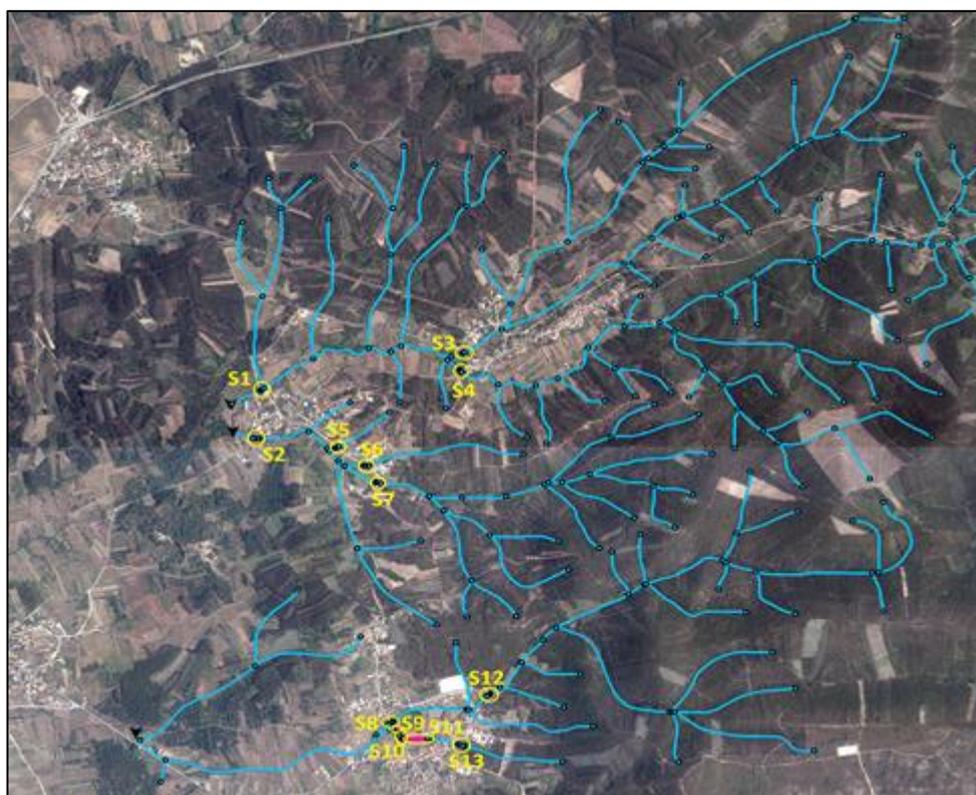


Figura 51 – Identificação das secções dos aquedutos e passagens hidráulicas (Imagem adaptada do *software* ArcMap, 2017).

Através da simulação efetuada com o *software* “*Mike Urban*” conseguiu-se classificar quais as secções que estão em risco de inundação. Através da Figura 52 consegue-se observar umas das simulações que foram obtidas com hietogramas de precipitação para um período de retorno de 20 anos e um tempo de precipitação igual ao tempo de concentração. Os resultados obtidos mostram que as secções a vermelho apresentam um risco elevado de inundação, enquanto as secções a amarelo apresentam um risco moderado de inundação.

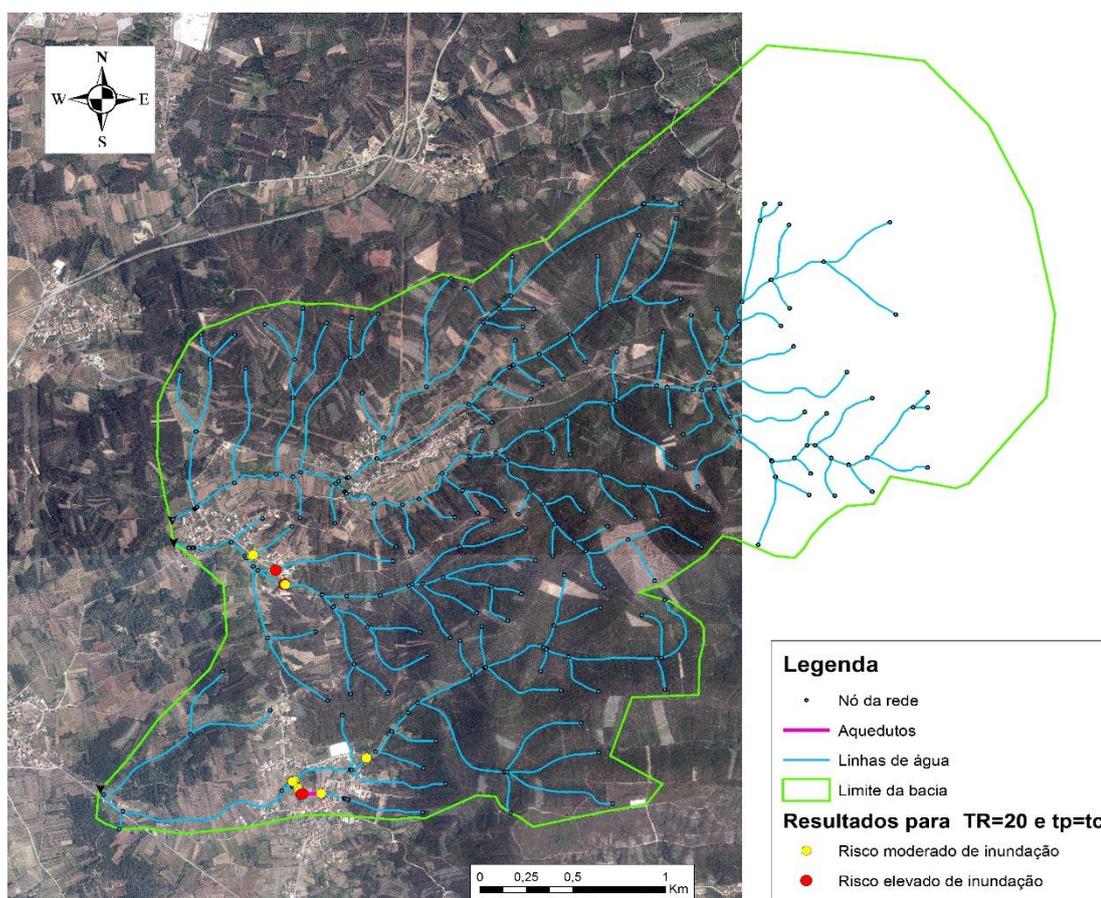


Figura 52 – Resultado das simulações com hietogramas para um período de retorno de 20 anos (Imagem importada do *software* “*Mike Urban*”, 2017).

Após a recolha de todos os dados necessários para atingir o objetivo, quer através de informações já cadastrada (através da AC), quer através de trabalho de campo efetuado no âmbito do estágio, foi calculada a capacidade máxima de cada aqueduto. Para este efeito foi considerado escoamento com superfície livre e secção cheia, tendo sido utilizada a fórmula de *Manning-Strickler*:

$$Q = k_s \times A \times R_h^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \quad (1.3)$$

onde,

Q – Caudal escoado

K_s – Coeficiente de rugosidade

A – Área da secção molhada;

R_h – Raio hidráulico (quociente entre a área molhada e o perímetro molhado);

i – Inclinação do coletor

Como referido anteriormente, foi através da comparação entre o caudal da situação atual e o caudal calculado através da fórmula acima descrita que se verificou quais são os casos preocupantes, ou seja, os aquedutos e PH's que têm necessidade de reformulação. No quadro seguinte são apresentados, para cada secção, os resultados obtidos.

Neste caso, não se trata de coletores, mas sim de aquedutos e passagens hidráulicas. As capacidades de cada aqueduto poderiam ser calculadas através de cálculos mais rigorosos (cálculo de aquedutos em vias de comunicação), mas optou-se aqui por simplificar os cálculos utilizando a fórmula de *Manning-Strickler*.

Quadro 6 – Resultados obtidos nas principais secções pluviais e comparação com as capacidades máximas (secção cheia ($h/D=0.8$) e $K_s = 75$ para betão).

Secção	Dimensão (mm)	Inclinação (%)	Caudal afluente (m ³ /s)	Capacidade máxima (m ³ /s)	Relação Qa/Qmax	Problemas?
S1	3500 x 1700	2.50%	14.66	59.03	25%	Não
S2	2500 x 1400	0.60%	7.75	14.32	54%	Não
S3	2200 x 1000	3.10%	1.10	17.39	6%	Não
S4	4200 x 1400	1.75%	13.48	47.32	28%	Não
S5	300	7.00%	0.35	0.24	144%	Secção insuficiente
S6	400	5.65%	0.61	0.47	129%	Secção insuficiente
S7	900	1.95%	4.78	2.41	198%	Secção insuficiente
S8	2 x 1000	2.65%	8.23	7.44	111%	Secção insuficiente
S9	400	1.50%	0.61	0.24	251%	Secção insuficiente
S10	300	2.85%	0.61	0.16	392%	Secção insuficiente

Secção	Dimensão (mm)	Inclinação (%)	Caudal afluente (m ³ /s)	Capacidade máxima (m ³ /s)	Relação Qa/Qmax	Problemas?
S11	400	5.70%	0.61	0.47	129%	Secção insuficiente
S12	2 x 900	4.15%	7.12	7.03	101%	Secção insuficiente
S13	600 x 400	5.20%	0.29	1.18	25%	Não

Através do Quadro 6 constata-se que oito das treze secções analisadas não têm capacidade suficiente para escoar o caudal afluente, ou seja, foi necessário realizar um estudo e um novo dimensionamento dessas secções de modo a que a sua capacidade máxima admitida seja superior ao caudal afluente e assim evitar problemas de inundação ou até mesmo roturas nas infraestruturas, causadas por dimensionamentos considerados não suficientes em relação ao desejado, para as condições previamente admitidas.

Das oito secções propícias à causa de problemas no escoamento devido às suas dimensões apenas sete foram redimensionadas. De notar que na S12 a diferença entre o caudal máximo admitido e o caudal afluente, ainda que de maior valor, é muito reduzida, não havendo justificação para um novo dimensionamento.

O novo dimensionamento e respetivo orçamento para as secções com capacidades insuficientes será o seguinte:

Secção 5:

O aqueduto que atravessa a Rua do Chafariz, Figuras 53 e 54, cujo diâmetro é de 300 mm tem uma proposta de remodelação para um aqueduto de diâmetro de 400 mm. A travessia da rua tem um comprimento de 6 m e terá um custo de remodelação e repavimentação é de 654.00€.

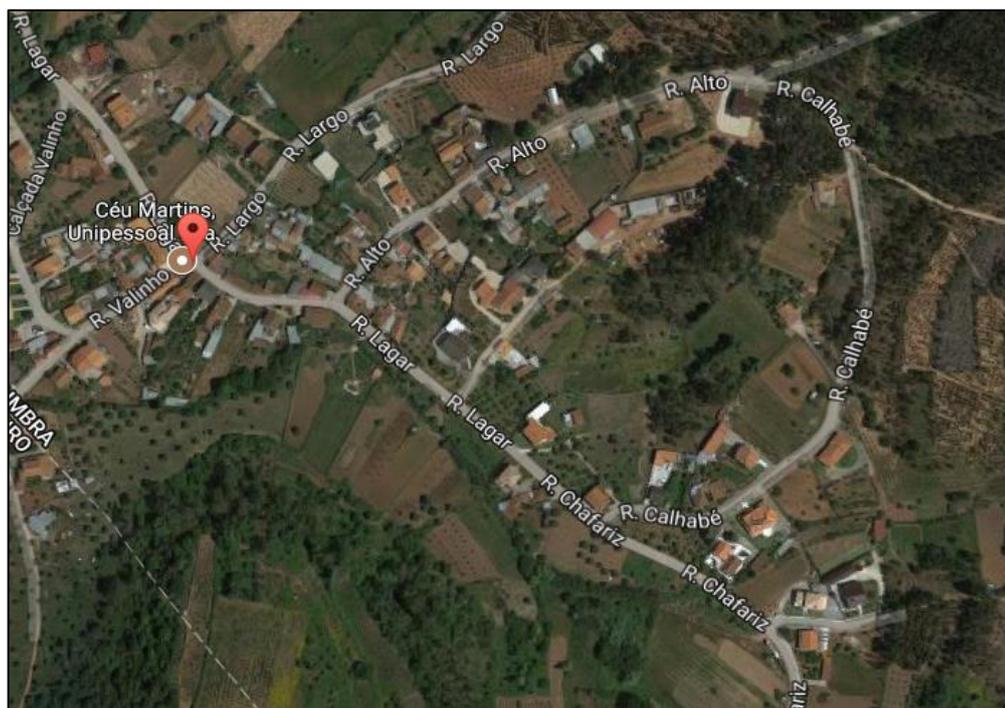


Figura 53 – Imagem via satélite na zona correspondente à localização da secção 5 (Google Maps).

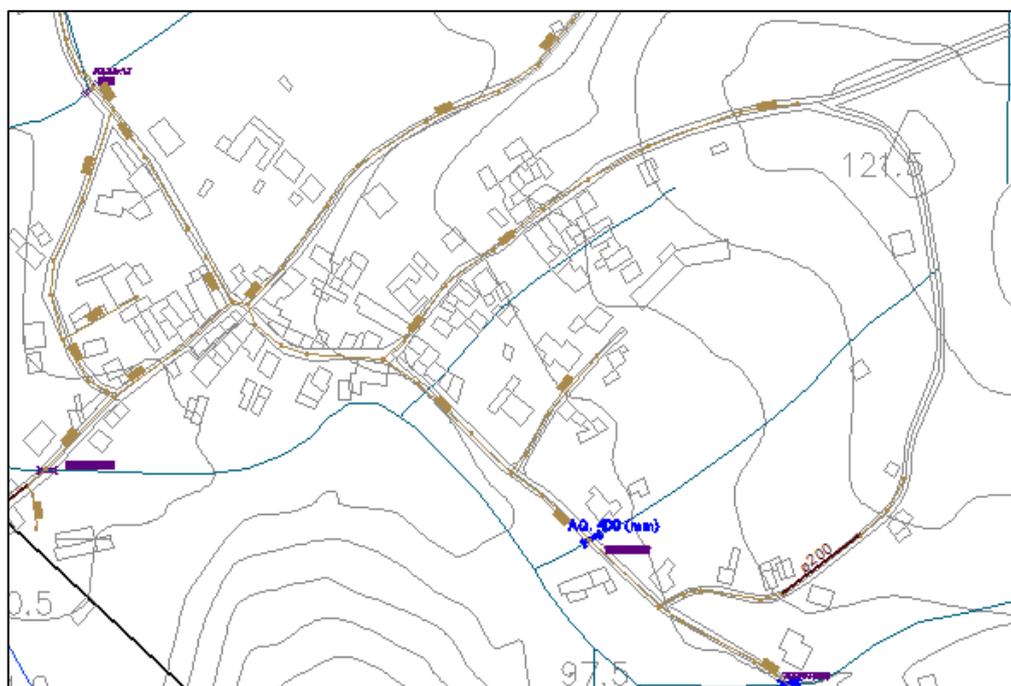


Figura 54 – Zona correspondente à secção 5 (Anexo 2/2 Situação Futura).

Secção 6:

Também na Rua do Chafariz, a secção 6, Figuras 55 e 56, apresenta incapacidade de escoamento o que pode ser resolvido através de uma reformulação da passagem hidráulica para um diâmetro de 500 mm. O custo da reformulação da tubagem e a repavimentação será 906.00€.



Figura 55 – Imagem via satélite na zona correspondente à localização da secção 6 (Google Maps).

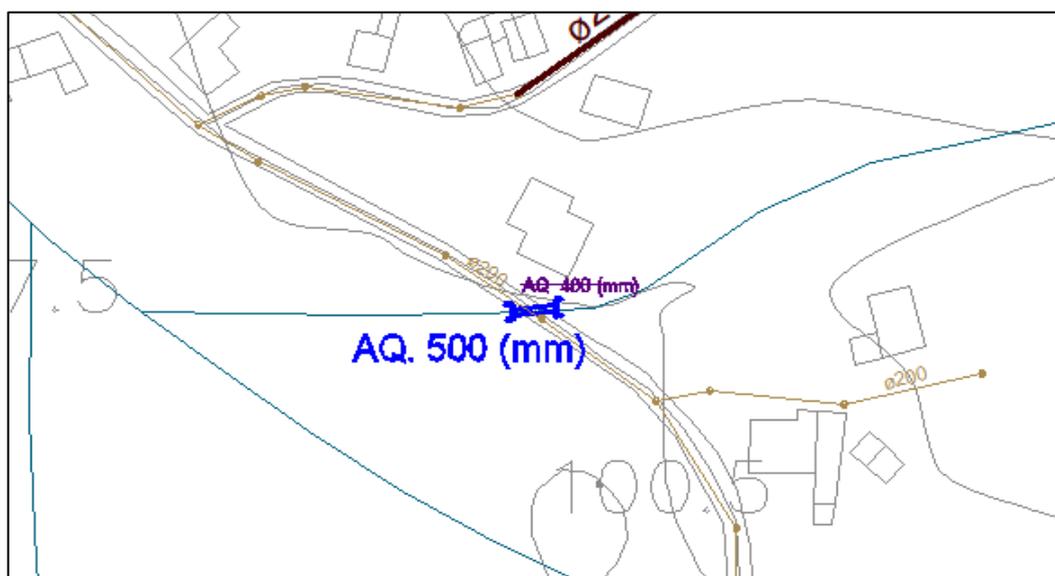


Figura 56 – Zona correspondente à secção 6 (Anexo 2/2 Situação Futura).

Secção 7:

Continuando na Rua do Chafariz, na Póvoa do Loureiro, Figuras 57 e 58, propõe-se uma reformulação de uma passagem hidráulica de 900 mm para uma passagem hidráulica de 1200 mm. A orçamentação para esta reformulação com repavimentação incluída será de 2709.00€.



Figura 57 – Imagem via satélite na zona correspondente à localização da secção 7 (Google Maps).

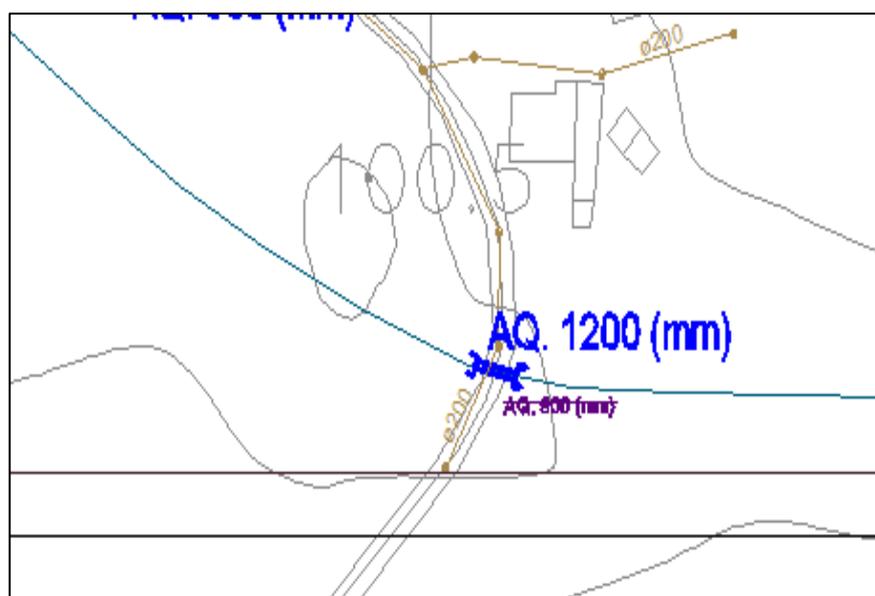


Figura 58 – Zona correspondente à secção 7 (Anexo 2/2 Situação Futura).

Secção 8:

O aqueduto localizado na Rua das Hortas, Figuras 59 e 60, apresenta incapacidade de escoamento, o que leva a que haja uma reformulação de uma passagem hidráulica de 2 x 1000 mm para uma passagem hidráulica de 2 x 1200 mm de diâmetro. Estima-se que o custo correspondente à remodelação e repavimentação seja de 5418.00 €.

Secção 9:

O aqueduto situado ao longo da extensão da Rua das Hortas, Figuras 59 e 60, na secção 9, com 40.00 m de comprimento, precisará de reformulação, pois o diâmetro de 400 mm não apresenta condições suficientes de escoamento. Propõe-se um aqueduto cujo diâmetro será de 600 mm, e o custo da sua reformulação e repavimentação será de 8580.00 €.

Secção 10:

Ainda na mesma rua das duas secções anteriores, Figuras 59 e 60, existe um aqueduto a necessitar de reformulação devido à sua falta de capacidade de escoamento. Para este aqueduto foi proposto um novo diâmetro de 600 mm em vez do atual diâmetro de 300 mm. A sua reformulação e repavimentação terá um custo de 5550.00 €.



Figura 59 – Imagem via satélite nas zonas correspondentes à localização das secções 8, 9 e 10 (Google Maps).

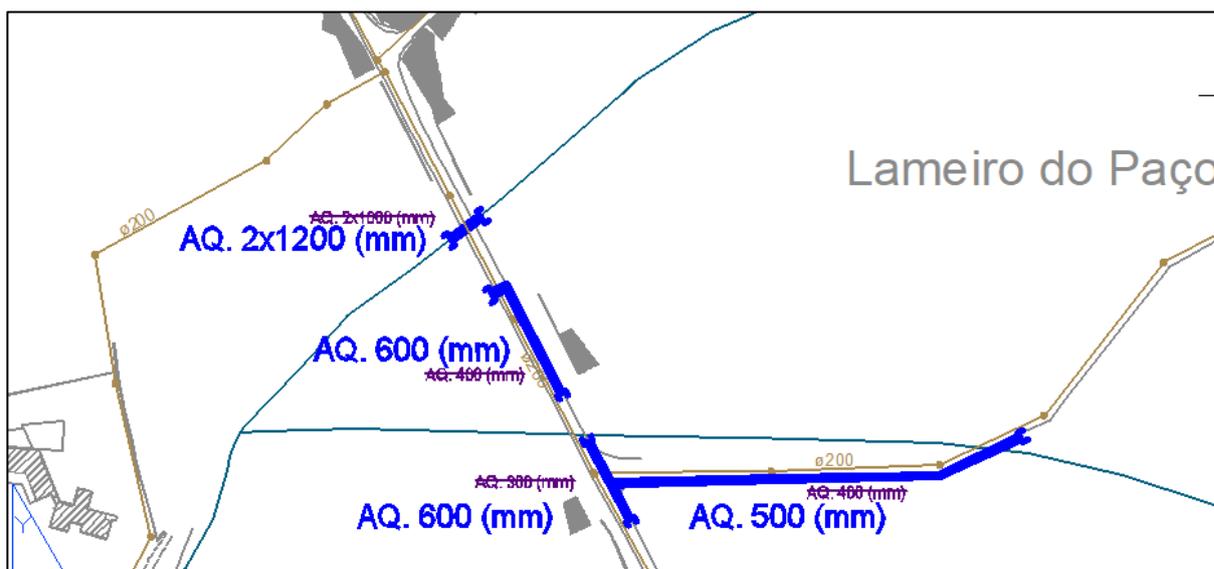


Figura 60 – Zonas correspondentes às secções 8, 9 e 10 (Anexo 2/2 Situação Futura).

Secção 11:

O aqueduto situado na Rua da Escola, identificado com a secção 11, Figuras 61 e 62, apresenta incapacidade de escoamento. Este problema poderá resolver-se reformulando o aqueduto com um diâmetro de 500 mm em vez do atual diâmetro de 400 mm. Este aqueduto apresenta uma extensão de 120.00 m, o que levará a um orçamento para a remodelação e repavimentação de 22 560.00 €.



Figura 61 – Imagem via satélite na zona correspondente à localização da secção 11 (Google Maps).

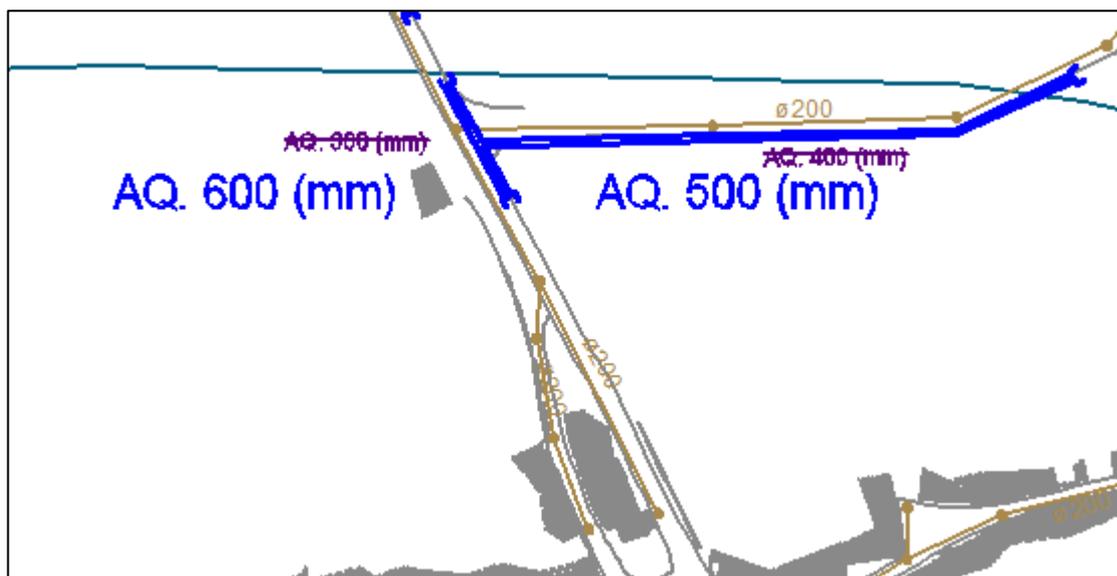


Figura 62 – Zona correspondente à secção 11 (Anexo 2/2 Situação Futura).

Com a análise do Quadro 7 verificamos quais as secções que apresentam capacidade insuficiente de escoamento e o orçamento efetuado para cada secção.

Quadro 7 – Propostas de remodelação e respetiva orçamentação.

Secção	Dimensão Atual (mm)	Capacidade Suficiente?	Dimensão proposta (mm)	Preço de remodelação + repavimentação (€)
S1	3500 x 1700	Sim	Igual	
S2	2500 x 1400	Sim	Igual	
S3	2200 x 1000	Sim	Igual	
S4	4200 x 1400	Sim	Igual	
S5	300	Não	400	654.00 €
S6	400	Não	500	906.00 €
S7	900	Não	1200	2 709.00 €
S8	2 x 1000	Não	2 x 1200	5 418.00 €
S9	400	Não	600	8 580.00 €
S10	300	Não	600	5 550.00 €
S11	400	Não	500	22 560.00 €
S12	2 x 900	Sim	Igual	
S13	600 x 400	Sim	Igual	
TOTAL				46 377.00 €

6. CONCLUSÃO

Após o término do Documento de Análise do Sistema de Drenagem da Bacia do Rio Cértoma pode concluir-se que existem algumas infraestruturas (aquedutos) que é necessário reformular e para isso torna-se indispensável o recurso a ferramentas de modelação hidráulica para identificar estes casos.

A modelação hidráulica é fundamental para compreender o funcionamento do sistema de forma a permitir a simulação de vários cenários, quer sejam situações atuais ou futuras, o que permitiu, na presente análise do sistema de drenagem, estudar o seu comportamento ao longo do percurso. Como referido anteriormente, foram feitas duas simulações, para cada um dos sistemas, com dois cenários diferentes: a situação atual e uma situação futura com o aumento dos consumos devido à previsível ocupação de habitações presentemente inabitadas.

A utilização do *software* “*Mike Urban*” permitiu uma rápida e eficaz forma de avaliação da eficácia dos sistemas de drenagem, ou seja, se estes perante as suas características têm capacidade suficiente para suportar os caudais previstos e se encontram corretamente dimensionados. Acabou por se concluir que, perante a situação atual, é necessário proceder à reformulação das condições de drenagem pluvial, nomeadamente em relação às características das infraestruturas existentes visto estas não apresentarem capacidades suficientes.

Através da elaboração do Documento de Análise do Sistema de Drenagem da Bacia do Rio Cértoma conseguiram-se tirar algumas conclusões acerca dos sistemas de drenagem atualmente implantados na zona (através da análise dos resultados do *software* “*Mike Urban*”):

- relativamente aos sistemas de drenagem de águas residuais domésticas, como referido no capítulo anterior, apesar de todo o sistema suportar os caudais simulados em ambas as situações (atual e futura), é necessário proceder a uma reformulação devido à existência de três troços que apresentam más condições estruturais, pondo em causa o bom funcionamento do sistema e podendo até levar à rotura do mesmo e causar prejuízos sociais, ambientais e monetários para a Entidade Gestora, AC. Dessa forma, ainda que não apresentada nem analisada no presente documento, aconselha-se a sua análise e reformulação.
- o sistema de drenagem de águas pluviais apresenta maiores preocupações, pois concluiu-se que oito secções de aquedutos, das treze que existem na Bacia do Rio Cértoma, terão de ser reformuladas e que, com o pior cenário da rede de drenagem simulado, ou seja, quando

$T_r=20$ anos e $t_p=3t_c$, existem quatro locais com risco elevado de inundação que requerem uma atenção especial.

Relativamente aos custos associados às propostas de intervenção, no sistema de drenagem de águas pluviais e domésticas, contabilizando os custos de repavimentação e de estudo dos projetos realizado pela empresa Águas de Coimbra E. M., a estimativa de custo final é de, aproximadamente, 160 000.00 €, como é concluído no Quadro 8 do documento, “Documento de Análise do Sistema de Drenagem da Bacia do Rio Cértoma”.

Quadro 8 – Estimativa de custos totais de intervenção na bacia do rio Cértoma.

Estimativa de custos totais	
Custos de remodelação e repavimentação	64 926.00 €
Custos de projetos da ACEM	94 300.00 €
Custo total (Remodelação + Repavimentação + Projetos)	159 226.00 €
Arredondamento	774.00 €
Estimativa de custo final	160 000.00 €

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Coelho, S. T., Loureiro, D. e Alegre, H. (2006). *Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Decreto-Regulamentar N° 23/95 – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Drenagem de Águas Residuais. Diário da República, I Série B, n° 1984, 1995.

Girão, L. F. O. (2014). *Modelação hidráulica e de qualidade da água de sistemas de drenagem em meios urbanos*. Dissertação para a obtenção de grau de mestre em Engenharia Civil – Especialidade de Hidráulica, recursos hídricos e ambiente.

Martins, F. J. P. (2000). *Dimensionamento Hidrológico e Hidráulico de passagens inferiores rodoviárias para águas pluviais*. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Especialidade de Hidráulica e Recursos Hídricos.

Martins, J. A. C. (2013). *Afluências Indevidas em Sistemas de Drenagem de Águas Residuais Domésticas*. Relatório de estágio apresentado para a obtenção do grau Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana.

Mata-Lima, H., Vargas, H., Carvalho, J., Gonçalves, M., Caetano, H., Marques, A., Raminhos, C. (2007). *Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um caso de estudo*. Revista Escola de Minas, vol. 60, núm. 3, julio-septiembre, 2007, pp. 525-536 Universidade Federal de Ouro Preto

Matias, M. G. B. (2006). *Bacias de retenção – Estudo de Métodos de Dimensionamento*. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, especialidade em Vias de Comunicação.

MIKE URBAN, Powered by DHI (2017). Acedido a 12/10/2017 em: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban>

- Paula, T. J. A. G. (2016). *Redução de aflúências indevidas de águas pluviais freáticas às redes de drenagem de águas residuais domésticas no concelho de Coimbra – Campanha de medição de caudais*. Relatório de estágio formal para admissão à Ordem dos Engenheiros.
- Pina, R. D., Sá Marques, A., Gonçalves Pereira, M. N., Tavares de Pina, S. C., Simões, N. E., Nogueira da Costa, L.F. (2011). *Plano Geral de Drenagem da Cidade de Coimbra – Do passado ao presente: as inundações na Praça 8 de Maio*.
- Portela, M. M., Marques, P., De Carvalho, F. F. (2000). *Hietogramas de Projeto para a análise de cheias baseada no modelo do hidrograma unitário so Soil Conservation Service (SCS)*. 5º Congresso da Água e o desenvolvimento sustentável: Desafios para o novo século.
- Sá Marques, A. e Sousa, J. (2011). *Hidráulica Urbana - Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Sá Marques, A. S., De Lima, J. P., Sousa, J., Simões, N. E. e Pina, R. (2013). *Hidrologia Urbana – Sistemas de águas pluviais urbanas*. Universidade de Coimbra, Entidade Reguladora de Serviços de Águas e Resíduos.
- Sodré, U. (2007). *Modelos matemáticos*. Universidade Estadual Londrina.
- Sousa, E. R., Matos, J. S. (2012). *Projeto de sistemas de drenagem de águas residuais comunitárias*. Instituto Superior Técnico – Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura.
- Sousa, E. R., Monteiro, A. J. (2005). *Órgãos Gerais dos Sistemas de Drenagem*. Lisboa, Instituto Superior Técnico – Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura.
- Técnico Lisboa, Acedido a 25/06/2017 em <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/download-File/282093452010771/7%20Capitulo7.pdf> ,
- Tucci, C. E. M. (1998). *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre, Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Associação Brasileira de Recursos Hídricos.