

REDES DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS – BACIAS DE RETENÇÃO – MODELAÇÃO DE UM CASO DE ESTUDO

JOÃO HENRIQUE ALMEIDA CASTELO BRANCO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Francisco Manuel de Oliveira Piqueiro

Coorientador: Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente

JUNHO DE 2022

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2021/2022

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901



m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha Família

A experiência é o nome que damos aos erros

Oscar Wilde

AGRADECIMENTOS

Pelos contributos à presente dissertação, o autor pretende manifestar o seu devido agradecimento e reconhecimento.

Ao Professor Doutor Francisco Manuel Oliveira Piqueiro, pela amabilidade, disponibilidade, apoio constante no decorrer da dissertação, partilha do gosto pela engenharia hidráulica, pela palavra de incentivo, pelo privilégio que tive em trabalhar consigo e pelos ensinamentos da vida de um engenheiro.

Uma palavra de carinho aos colegas que conheci na faculdade, a quem posso chamar de amigos, que me acompanharam nesta longa caminhada de cinco anos de estudante. O tempo passará, mas as memórias deste tempo maravilhoso perduraram para sempre.

Por último lugar, mas não menos importante, aos meus pais, João e Célia, assim como ao meu irmão André, que sempre tiveram presentes no meu percurso como estudante, mas principalmente como pessoa. Pelo carinho, dedicação e sobretudo paciência. É a eles que devo a posição onde me encontro hoje.

RESUMO

A constante evolução dos centros urbanos verificada nos últimos Séculos, associada à intensificação de eventos climáticos, tem evidenciado problemas de funcionamento adequado nos sistemas de drenagem pluvial.

Fundamentalmente, a gestão sustentável das águas pluviais nas cidades é, atualmente, uma prioridade para aumentar a qualidade de vida e qualidade ambiental.

Cada vez mais, a rede de drenagem de águas pluviais tem de deixar de se limitar apenas a encaminhar a água para fora da cidade o que, por si só, aumentaria o risco de desastres, tais como inundações e erosões, o que em pleno Século XXI não deve ocorrer em meio urbano.

Se possível, devem ser utilizados Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável, que permitam que um meio urbano adquira um comportamento relativamente aos caudais de ponta de cheia semelhante àquele verificado antes da introdução da urbanização no território.

Desta forma, introduz-se a possibilidade de implementação de um dispositivo de retenção, mais propriamente uma bacia de retenção, de forma a perceber como a sua eventual introdução pode ser vista como uma nova abordagem a considerar num projeto de redes de drenagem de águas pluviais.

A presente dissertação pretende expor, caracterizar e modelar um pequeno modelo de bacia de retenção, com vista à resolução dos problemas existentes no sistema de drenagem de águas pluviais, maioritariamente na mitigação dos caudais excessivos.

A modelação do comportamento da bacia de retenção, e da rede de drenagem de águas pluviais, foi efetuada com o apoio do programa informático de simulação SWMM.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia de retenção; Rede de drenagem de águas pluviais; Infiltração; SUDS; SWMM

(Página propositadamente deixada em branco)

ABSTRACT

The constant evolution of urban centres verified in the last centuries, associated with the intensification of climatic events, has evidenced problems in the proper functioning of storm drainage systems.

Fundamentally, sustainable stormwater management in cities is currently a priority to increase quality of life and environmental quality.

Increasingly, the stormwater drainage network must no longer be limited to merely channelling water outside the city, which would increase the risk of disasters such as flooding and erosion, which in the 21st century should not occur in an urban environment.

If possible, Sustainable Urban Drainage Systems should be used, allowing the urban environment to acquire a behaviour in relation to the flood peak flows like those verified before the introduction of urbanization in the territory.

This way, the possibility of introducing a retention device, more specifically a retention basin, to understand how its eventual introduction can be seen as a new approach to consider in a stormwater drainage network project.

This dissertation aims to expose, characterize, and model a small detention basin model, with a view to solving existing problems in the stormwater drainage system, mainly in the mitigation of excessive flows.

The modelling of the retention basin and stormwater drainage network behaviour was carried out with the support of the SWMM simulation software.

KEY-WORDS: Retention Basin; Stormwater drainage network; Infiltration; Modelling; SWMM

(Página propositadamente deixada em branco)

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. APRESENTAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO TEMA	1
1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. CICLO HIDROLÓGICO	8
2.3. CICLO URBANO DA ÁGUA	8
2.4. SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS	9
2.4.1. TIPOS DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS	9
2.4.2. COMPONENTES DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS	10
2.4.3. COMPONENTES DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS	10
2.5. AFLUÊNCIAS INDEVIDAS NOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS	11
2.6. IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NOS SISTEMAS	11
2.7. SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEIS (SUDS)	12
2.7.1. OBJETIVOS DOS SUDS	13
2.7.2. SISTEMAS DE DRENAGEM CONVENCIONAIS VS. SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL	13
2.7.3. REQUISITOS FUNCIONAIS	14
2.7.4. BACIA DE RETENÇÃO COMO SUDS	14
3. BACIAS DE RETENÇÃO	15
3.1. FUNDAMENTOS	15
3.2. OBJETIVOS DAS BACIAS DE RETENÇÃO	16
3.2.1. REGULARIZAÇÃO DOS CAUDAIS DE PONTA E REDUÇÃO DOS RISCOS DE INUNDAÇÃO	16
3.2.2. MEIO AMBIENTE	16
3.2.3. POTENCIAL PAISAGÍSTICO E RECREATIVO	17
3.2.4. FONTE DE RESERVAS DE ÁGUA	17

3.3. CONSTITUIÇÃO	18
3.4. DISTINÇÃO ENTRE BACIAS DE RETENÇÃO E BACIAS DE DETENÇÃO	18
3.5. TIPOLOGIAS DE BACIAS DE RETENÇÃO	18
3.5.1. BACIAS EM SÉRIE (ON-LINE)	19
3.5.2. BACIAS EM PARALELO (OFF-LINE)	19
3.5.3. BACIAS SUBTERRÂNEAS	20
3.5.4. BACIAS SUPERFICIAIS	20
3.5.4.1. Bacias Secas	21
3.5.4.2. Bacias de Água Permanente	23
3.6. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	25
4. DIMENSIONAMENTO DE REDES DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS	29
4.1. INTRODUÇÃO	29
4.2. MÉTODO RACIONAL	29
4.2.1. TEMPO DE RETORNO	31
4.2.2. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	31
4.2.3. INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO	31
4.3. DIMENSIONAMENTO DOS COLETORES	33
4.4. STORM WATER MANAGEMENT MODEL	35
5. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	39
5.1. MUNICÍPIO DE MATOSINHOS	39
5.1.1. PEQUENA INTRODUÇÃO HISTÓRICA DO MUNICÍPIO	40
5.1.2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E DISTRIBUIÇÃO POPULACIONAL	40
5.1.3. ALTIMETRIA E HIPSOMETRIA	42
5.1.4. HIDROGRAFIA	44
5.1.5. PLUVIOSIDADE	45
5.1.6. OCUPAÇÃO DO SOLO	45
5.1.7. ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO	47
5.2. UNIÃO DE FREGUESIAS DE SÃO MAMEDE DE INFESTA E SENHORA DA HORA	47
6. CASO DE ESTUDO – SIMULAÇÃO HIDRÁULICA	49
6.1. INTRODUÇÃO	49
6.2. PROCESSOS DE DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS	50
6.3. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	50

6.4. TERRITÓRIO.....	51
6.5. DESENVOLVIMENTO DA REDE.....	52
6.5.1. COLETORES E CÂMARAS DE VISITA.....	52
6.5.2. ÁREAS A DRENAR E SUB-BACIAS	56
6.5.3. HIDROLOGIA	59
6.6. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO CÁLCULO HIDRÁULICO	60
6.6.1. CAUDAIS DE PONTA E CAUDAIS DE SECÇÃO CHEIA.....	60
6.6.2. AUTOLIMPEZA DAS CONDUTAS	61
6.7. DIMENSIONAMENTO DAS BACIAS DE RETENÇÃO	61
6.7.1. SITUAÇÃO ORIGINAL (PRÉ-URBANIZAÇÃO)	62
6.7.2. SITUAÇÃO FUTURA (PÓS-URBANIZAÇÃO)	63
7. CASO DE ESTUDO – MODELAÇÃO NO STORM WATER MANAGEMENT MODEL	65
7.1. INTRODUÇÃO	65
7.2. CONSTRUÇÃO DO MODELO.....	65
7.2.1. NÓS DE CONEXÃO	66
7.2.2. COLETORES	68
7.2.3. NÓ EXUTÓRIO.....	69
7.2.4. SUB-BACIAS.....	70
7.2.5. PLUVIÓMETRO	72
7.3. SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	77
7.4. INTRODUÇÃO DA BACIA DE RETENÇÃO NO MODELO.....	81
8. ABORDAGENS ALTERNATIVAS DE DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE RETENÇÃO.....	87
8.1. INTRODUÇÃO	87
8.2. DIMENSIONAMENTO RECORRENDO AO MÉTODO NEERLANDÊS	87
8.3. DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE RETENÇÃO COM FORMA TRAPEZOIDAL	89
8.4. RESPOSTA DA BACIA DE RETENÇÃO A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO DIFERENTE	91
8.5. RESPOSTA DA BACIA FACE A UMA GRANDE CHUVADA, VERIFICADA NO DIA 19 DE OUTUBRO DE 2019	93
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
9.1. CONCLUSÕES GERAIS.....	97
9.2. DIFICULDADES SENTIDAS NO DECORRER DO TRABALHO.....	97

9.3. TRABALHOS FUTUROS PROPOSTOS	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXOS	I

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do acesso a sistemas de drenagem de águas residuais em Portugal (1991 - 2019), PORDATA (2022).....	6
Figura 2 - Impacto no hidrograma de cheia antes e depois da urbanização e após a aplicação de medidas de redução de caudais (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)	7
Figura 3 - Esquema do Ciclo Urbano da Água (Tentúgal Valente, 2020)	9
Figura 4 - Efeito da urbanização no hidrograma de cheia e respetivo caudal de ponta (Adaptado de Butler, 2018)	12
Figura 5 - Objetivos dos SUDS (Adaptado de Woods-Ballard, <i>et al.</i> , 2007)	13
Figura 6 - "Praça da Água", Roterdão, Países Baixos (Fonte: Regenerative Design, 2022; Rotterdam Innovation City, 2022)	21
Figura 7 - Esquematização de uma Bacia Seca (Adaptado de Avilez-Valente, 2020).....	21
Figura 8 - Esquematização da tomada de água de uma bacia superficial (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)	22
Figura 9 - Perfil transversal tipo de uma bacia seca (Adaptado de Avilez-Valente, 2020).....	23
Figura 10 - Esquematização de uma bacia de água permanente (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)	24
Figura 11 - Esquematização de uma tomada de água de uma bacia de água permanente (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)	24
Figura 12 - Perfil Transversal de uma bacia de água permanente (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)	25
Figura 13 - Regiões pluviométricas (A, B e C) de Portugal (Adaptado de Portela, 2006).....	32
Figura 14 - Coletor Circula com secção parcialmente cheia (Tentúgal Valente, <i>et al.</i> , 2020).....	34
Figura 15 – Representação geográfica do concelho de Matosinhos (Fonte: https://www.ine.pt/scripts/db_censos_2021.html)	39
Figura 16 - Distribuição das Uniões de Freguesias (Fonte: Wikipédia).....	41
Figura 17 - Mapa altimétrico de Matosinhos (Adaptado de Câmara Municipal de Matosinhos, 2020) .	43
Figura 18 - Mapa Hipsométrico da freguesia de São Mamede de Infesta (Adaptado de Pareja-Obregón, 2021)	44
Figura 19 - Mapa Hidrográfico de Matosinhos (Adaptado de Câmara Municipal de Matosinhos, 2020)	45
Figura 20 - Classificação do solo como rústico (Adaptado de Câmara Municipal de Matosinhos, 2020)	46
Figura 21 - Situação existente de solo urbano para o concelho de Matosinhos (Adaptado de Câmara Municipal de Matosinhos, 2020).....	47

Figura 22 - Ponte da Pedra, São Mamede de Infesta (Fonte: https://bussola-pt.com/211244/ponte-da-pedra)	48
Figura 23 - Área de estudo a desenvolver (Fonte: Google Earth)	49
Figura 24 - Ponto de saída da rede de drenagem de águas pluviais (Fonte: Google Earth)	51
Figura 25 - Representação de todas as câmaras de visita, coletores, nó exutório e bacia de retenção do sistema, no SWMM	55
Figura 26 - Representação de parte das sub-bacias, no SWMM	59
Figura 27 - Identificação das condutas T44 e T45, com problemas de Autolimpeza, no SWMM	61
Figura 28 - Construção do modelo hidráulico no SWMM	66
Figura 29 - Janela de input de dados referentes à CV42, no SWMM	67
Figura 30 - Janela de input de informações relativas às afluências nas câmaras de visita, no SWMM	68
Figura 31 - Janela de input de dados, referente ao coletor T9, no SWMM	69
Figura 32 - Janela de input de informação do nó exutório E1, no SWMM	70
Figura 33 - Janela de <i>input</i> dos dados referentes à sub-bacia S67, no SWMM	72
Figura 34 - Introdução da série temporal de dados e visualização do registo de precipitação horária em mm do dia 25 de setembro de 2021.....	75
Figura 35 - Janela de <i>input</i> dos dados, referentes ao pluviómetro PLUV1, no SWMM	76
Figura 36 - Perfil longitudinal da situação de referência, ao longo dos coletores T1 a T11, no SWMM	77
Figura 37 - Perfil longitudinal da situação de referência, ao longo dos coletores T16 a T12, no SWMM	77
Figura 38 - Situação de referência relativa aos coletores T10, T11, T12 e T13, no SWMM.....	78
Figura 39 - Resposta do sistema numa situação onde apenas contribui os caudais de ponta (modelo estático), no SWMM	78
Figura 40 - Simulação da resposta do sistema de drenagem de águas pluviais, na rua Henrique Bravo e uma parcela da rua das Laranjeiras, no SWMM.....	79
Figura 41 - Hidrograma das sub-bacias drenantes, relativas às sub-bacias S21, S22, S23 e S24, aquelas mais próximas do local de implantação da bacia de retenção, no SWMM.....	80
Figura 42 - Modelo Hidráulico, incluindo a bacia de retenção (DEP1), no SWMM	81
Figura 43 - Janela De Input Dos Dados Relativos À Bacia De Retenção (Dep1), No SWMM.....	82
Figura 44 - Representação da curva de armazenamento da bacia de retenção, no SWMM.....	83
Figura 45 - Representação dos hidrogramas de cheia relativos às condutas de entrada (T88) e de saída (T89) da bacia de retenção, no SWMM	84
Figura 46 - Profundidade da água no interior da bacia de retenção, no SWMM.....	85
Figura 47 - Resposta dos trechos T12, ligação e saída da bacia, (T88) e (T89), respetivamente, no instante mais crítico.....	85

Figura 48 - Hidrograma De Cheia Relativo Aos Coletores De Entrada (T88) E Saída (T89) Da Bacia De Retenção, Para O Método Neerlandês, No SWMM	88
Figura 49 - Profundidade da água na bacia de retenção, para o método neerlandês, no SWMM	88
Figura 50 - Forma da bacia de retenção trapezoidal, no SWMM	89
Figura 51 - Hidrograma de cheia dos trechos de entrada e saída da bacia de retenção com forma trapezoidal, no SWMM	90
Figura 52 - Profundidade da água na bacia de retenção trapezoidal, no SWMM	90
Figura 53 - Registo de precipitação referente ao dia de 20 de fevereiro de 2021, no SWMM	92
Figura 54 - Hidrograma de cheia verificado nos coletores de entrada e de saída da bacia de retenção, para o dia de 20 de fevereiro de 2021, no SWMM	92
Figura 55 - Gráfico da evolução da profundidade de água verificada na bacia de retenção, para o dia de 20 de fevereiro de 2021, no SWMM	93
Figura 56 - Registo de precipitação referente ao dia de 19 de outubro de 2019, no SWMM	94
Figura 57 - Hidrograma de cheia verificado nos coletores de entrada e de saída da bacia de retenção, para o dia de 19 de outubro de 2019, no SWMM	94
Figura 58 - Gráfico da evolução da profundidade de água verificada na bacia de retenção, para o dia de 19 de outubro de 2019, no SWMM	95

(Página propositadamente deixada em branco)

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros a e b, consoante os períodos de retorno e as regiões pluviométricas A, B e C (Adaptado de Portela, 2006)	33
Tabela 2 - População Residente, Densidade Populacional e Variação Populacional das Freguesias do concelho de Matosinhos.....	42
Tabela 3 - Dimensões dos Tubos da Politejo AMBIDUR, adaptado de POLITEJO (2015).....	53
Tabela 4 - Identificação, comprimento, cotas inclinações dos trechos 1 a 10, do sistema de drenagem de águas pluviais.....	56
Tabela 5 - Áreas relativas às sub-bacias da rede de drenagem, afetas aos coletores 1 a 10	57
Tabela 6 - Coeficientes de Escoamento utilizados no modelo	57
Tabela 7 - Coeficientes de Escoamento, consoante a ocupação do solo (Adaptado de Maia, 2020) ..	58
Tabela 8 - Caudais obtidos, para os coletores 1 a 10.....	60
Tabela 9 - Somatório das alturas de precipitação, na estação meteorológica de Ermesinde, para o mês de setembro de 2021, do ano hidrológico 2020/2021, adaptado de SNIRH	74
Tabela 10 - Características do escoamento afluente à bacia de retenção, no coletor T88, no instante 07:00:00.....	84
Tabela 11 - Características do escoamento efluente à bacia de retenção, no coletor T89, no instante 07:00:00.....	84
Tabela 12 - Áreas da bacia de retenção, relativamente à profundidade, para uma bacia com forma trapezoidal.....	89

(Página propositadamente deixada em branco)

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

% - Percentagem

A – Área da bacia

a,b – Parâmetros da curva intensidade-duração-frequência

C – Coeficiente de Escoamento

CV – Câmara de Visita

D – Diâmetro do coletor

DEP1 – Bacia de Retenção

DR 23/95 – Decreto Regulamentar de 23 de agosto de 1995

E1 – Nó exutório

ETA – Estação de Tratamento de Águas

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

EUA – Estados Unidos da América

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

hab - Habitantes

hab/km² – Habitantes por quilómetro quadrado

i – Inclinação do coletor

I – Intensidade de Precipitação

I-D-F – Curvas Intensidade-Duração-Frequência

Ks – Coeficiente de Rugosidade de Manning

l/s – Litros por segundo

m/s – Metros por segundo

m³/s - Metros cúbicos por segundo

min – Minutos

mm/h – Milímetros por hora

n – Coeficiente de Rugosidade de Manning

NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

PDM – Plano Diretor Municipal

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PLUV1 – Pluviómetro

PORDATA – Base de dados de Portugal Contemporâneo

PP – Poliprotileno

Q – Caudal de cálculo

q – Caudal máximo efluente

Q_0 – Caudal de secção cheia

Q_P – Caudal de ponta

q_s – Caudal específico afluente

Q_T – Caudal do escoamento superficial afluente

R_H – Raio Hidráulico

S – Sub-bacias

s.d. – Sem dados

SS – Sólidos Suspensos

SUDS – Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis

SWMM – Storm Water Management Model

T- Coletores

t_c – Tempo de concentração

t_{cr} – Tempo crítico

U – Velocidade do escoamento

US EPA – *U.S. Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

V_a – Volume armazenado

V_{br} – Volume de retenção

y – Altura de água

Θ – Ângulo da relação geométrica, para o cálculo da secção molhada

Φ – Diâmetro do coletor

1

INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO TEMA

O relatório “*Urban sprawl in Europe*”, elaborado pela European Environment Agency (2016), faz referência à expansão urbana que se manifesta pelo território europeu. Neste, é possível observar que cada vez mais se verificam migrações populacionais das áreas rurais para as grandes cidades, o que faz aumentar os números populacionais nestas. Estes aumentos populacionais vêm a introduzir nos sistemas de drenagem problemas funcionais, visto que os sistemas atualmente existentes não foram dimensionados para responder às novas necessidades das populações, devido ao aumento das águas pluviais, provocado pelo aumento da impermeabilização recorrente do crescimento urbano verificado. De acordo com este estudo, cerca de 73% da população europeia habita nas cidades. As projeções realizadas estimam que no ano de 2050 este número chegue aos 82%.

Muitos dos problemas ambientais do continente estão enraizados no avanço imparável das áreas urbanas. A economia global, as redes internacionais de transportes, as mudanças sociais, económicas e demográficas em larga escala, bem como as diferenças nas legislações nacionais que regem o planeamento urbano, estão entre as forças motrizes deste fenómeno. O relatório apela à coordenação e monitorização das políticas da UE em matéria de planeamento urbano (Pareja-Obregón, 2021).

De forma a mitigar as consequências do crescimento populacional exponencial que se tem manifestado, devem ser tomadas decisões que passem pela otimização do sistema de abastecimento e consumos de água, implementar medidas de reutilização da água e garantir que a descarga desta no meio ambiente é realizada em condições que não ponham em causa o meio recetor.

A impermeabilização do solo nas cidades é um fator condicionante na gestão da água da chuva dentro da cidade, e pode também ter efeitos significativos nos cursos de água a jusante da cidade, produzindo, em certos casos, alterações morfológicas no curso de água e um aumento do risco de inundação a jusante.

De certa forma, o crescimento exponencial das áreas impermeáveis que ocorre nas grandes metrópoles acoplado com as precipitações cada vez mais extremas resultantes das alterações climáticas requer que sejam repensadas as respostas do sistema no que toca a inundações.

Uma abordagem referente à gestão dos sistemas de drenagem de águas pluviais, assim como as suas possíveis soluções e o dimensionamento dos seus componentes, será a questão principal e fundamental a ser abordada nesta dissertação.

Para resolver este problema, são necessários sistemas de drenagem urbana sustentáveis e inovadores, uma vez que a procura de água e a impermeabilização do solo irão aumentar. Um dos organismos que

pode controlar os fluxos de águas pluviais é um organismo semelhante aos sistemas de drenagem tradicionais, tais como as bacias de retenção.

Este elemento permite a restituição de caudais a jusante que não excedam os caudais de conceção para estes sistemas de drenagem, não excedendo assim a capacidade do sistema e permitindo um funcionamento eficiente e contínuo.

1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS

A motivação da realização da presente dissertação consiste na procura da avaliação de comportamento de uma bacia de retenção poderá apresentar, no âmbito das redes de drenagem de águas pluviais.

O principal objetivo da inserção da bacia de retenção será a resolução dos problemas associados aos caudais pluviais, caudais estes que são cada vez mais elevados e, por consequente, a rede fica incapacitada de atender a tal situação, principalmente em contexto urbano.

Desta forma, identificam-se as necessidades de procurar novas soluções, que englobem Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável, de forma a permitir o melhor funcionamento da rede no geral e introduzir uma gestão mais eficaz e sustentável de todo o sistema de drenagem.

Nesta dissertação, pretende-se, então, proceder à modelação de um dispositivo de retenção, mais concretamente, uma bacia de retenção, de forma a verificar se a sua implementação é ou não benéfica para o funcionamento do sistema, assim como estudar o seu dimensionamento

A vertente de modelação do trabalho, foi realizada no programa informático SWMM.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é composta por nove capítulos.

O primeiro capítulo, remete para uma introdução, onde são definidos os pressupostos iniciais, o âmbito da análise e os objetivos a alcançar.

O segundo capítulo, foca-se nos sistemas de drenagem urbana, descrevendo aspetos dos mesmos tais como a sua constituição, o impacto que apresentam perante o ciclo hidrológico, de que forma as afluências indevidas alteram o seu funcionamento, caracterização de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis e o impacto que a urbanização introduz na drenagem urbana.

A terceira parte do trabalho aborda as bacias de retenção, como um contributo sustentável na gestão da drenagem e do planeamento urbano. São mencionados os diferentes tipos de bacia e as suas finalidades, além de se fazer uma breve introdução ao seu processo de dimensionamento hidráulico.

No capítulo quarto, esquematiza-se o processo de dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais, referindo quais as metodologias de cálculo usadas, assim como a sua aplicação ao caso de estudo.

O quinto capítulo serve de apresentação da zona de estudo, mencionando aspetos relacionados com a esquematização da zona no concelho Matosinhos. É, ainda, feita uma breve introdução ao procedimento de dimensionamento da rede de drenagem, além de introduzir o programa SWMM.

Os capítulos seis e sete desenvolvem a modelação efetuada com base no caso de estudo, relatando a sua metodologia, apresentando os resultados e discutindo-os e sugerindo desenvolvimentos futuros.

O oitavo capítulo serve para avaliar o comportamento da bacia dimensionada no capítulo anterior, para chuvas alternativas à de dimensionamento. É, ainda, realizado o dimensionamento da bacia através do método neerlandês; dimensionamento considerando uma forma trapezoidal para a bacia.

O capítulo nove, apresenta as considerações finais do trabalho realizado, criticando o mesmo e enumerando algumas das dificuldades sentidas ao longo da sua realização. Faz-se ainda menção a potenciais trabalho futuros.

(Página propositadamente deixada em branco)

2

SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

2.1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de drenagem urbanos são necessários em áreas de qualquer tipo de desenvolvimento urbano devido à interação entre a atividade humana e o ciclo natural da água. Esta interação é demonstrada, principalmente, de duas formas: a captação da água e a impermeabilização do terreno (Butler, 2018).

Os sistemas de drenagem devem gerir estes aspetos de forma a balancear o impacto que estes provocam na vida humana e no ambiente. Assim sendo, as interfaces principais da drenagem urbana são o público e o ambiente. Porém, devem ser capazes de responder às questões essenciais dos desafios atuais: técnicas de benefício-custo e aceitação social (Butler, 2018).

A PORDATA, Base de Dados de Portugal Contemporâneo, fundada em 2009, permite a recolha, organização, sistematização e divulgação de informação relativas a diversas áreas da sociedade. Uma destas áreas de análise, diz respeito ao Ambiente, Energia e Território, através da qual é possível recolher informação que diz respeito à Água e Saneamento.

Analisando a informação recolhida correspondente aos “Alojamentos servidos por sistemas públicos de abastecimento de água, sistemas de drenagem de águas residuais e estações de tratamento de águas residuais (ETAR)”, é possível dizer que, no ano de 2020, 86% dos alojamentos servidos, dispõem de sistemas de drenagem de águas residuais.

Na Figura 1 observam-se os desenvolvimentos verificados para Portugal, entre 1991 e 2020, relativamente à evolução verificada a nível dos sistemas públicos abastecimento de água e sistemas de drenagem de águas residuais, sendo facilmente possível de observar que ocorreu um crescimento exponencial do acesso das populações a sistemas de águas residuais.

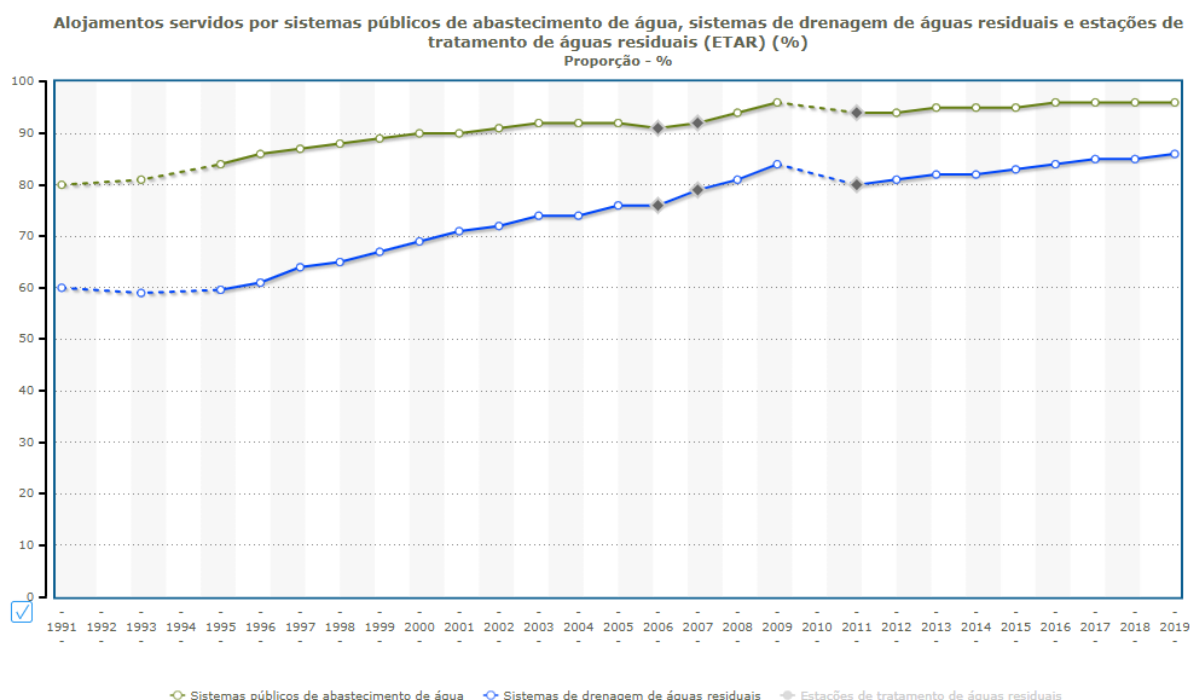


Figura 1 - Evolução do acesso a sistemas de drenagem de águas residuais em Portugal (1991 - 2019), PORDATA (2022)

Embora os esforços verificados na distribuição destes sistemas no território nacional, como repercussão da tendência de crescimento de aglomerados populacionais nos centros urbanos e suas inerentes transformações antrópicas, são cada vez mais expectáveis sérias preocupações relacionadas com o funcionamento dos sistemas de drenagem.

Apesar disto, têm-se verificado uma deterioração e desgaste das infraestruturas existentes. Grande parte destas, foram implementadas à cerca de 40 – 50 anos, pelo que o fim do seu período de vida útil está a se aproximar. Esta situação é importante de referir, uma vez que podemos estar perante a iminência de graves problemas de funcionamento.

Devido ao crescimento dos aglomerados populacionais nos centros urbanos, começam a existir maiores preocupações relativas à gestão operacional dos sistemas de drenagem.

A expansão urbana induz uma sobrecarga dos caudais de águas pluviais urbanas a recolher e a tratar. Todavia, quando associada ao inadequado ordenamento do território e planeamento dos sistemas de drenagem, conduz, em geral, a uma abundância de caudais pluviais a coletar que, contribuem para a amplificação dos processos de consolidação e impermeabilização dos solos (Baptista, 2021).

Simultaneamente, a crescente ocupação urbana e o aumento dos caudais pluviais urbanos podem também propiciar maiores afluências indevidas às redes, bem como levar a uma deterioração da qualidade da água de rios e linhas de água (Baptista, 2021).

Assim, o controlo da inundação é obtido através do cumprimento de dois princípios fundamentais:

- Utilizador urbano não deve ampliar a cheia natural;
- As medidas de controlo de inundações não podem reduzir o impacto numa área em detrimento de outra.

A impermeabilização do terreno não permite que a água pluvial se infiltre nos solos. Desta forma, verifica-se um aumento no volume superficial escoado e do caudal de ponta de cheia, visto que a infiltração é menor e a velocidade de escoamento superficial é maior (Baptista, 2021).

A Figura 2 ilustra os respetivos hidrogramas de cheia perante as situações de antes e depois do desenvolvimento urbanístico e de que forma a aplicação de medidas de redução de caudais de ponta interfere no hidrograma de cheia.

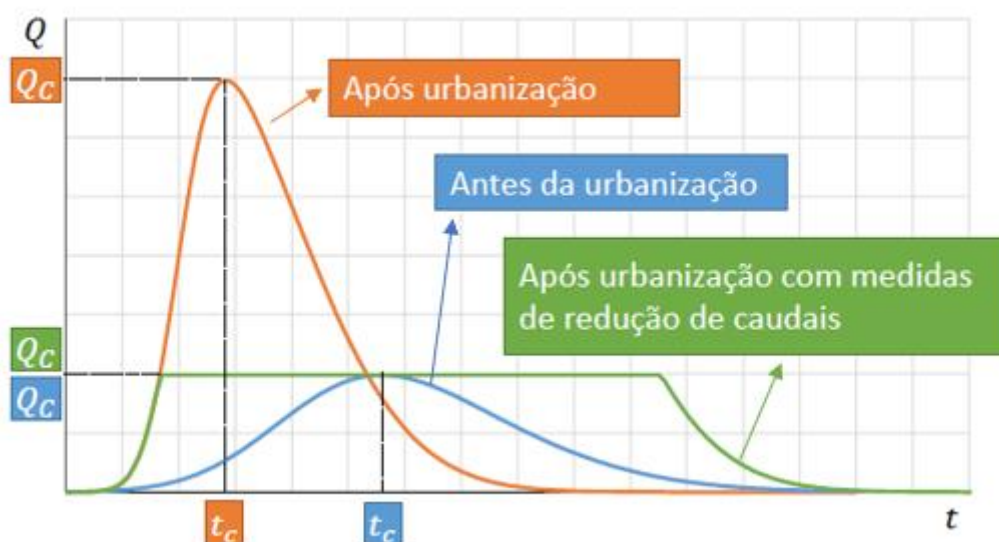


Figura 2 - Impacto no hidrograma de cheia antes e depois da urbanização e após a aplicação de medidas de redução de caudais (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)

Assim sendo, é de elevada importância uma alteração nas práticas de projeto e de gestão das infraestruturas de drenagem, de forma a desenvolver soluções ajustadas e viáveis face às condições socioeconómicas das cidades e, paralelamente, preservar o ambiente (Lima, 2013).

De acordo com a evolução do estado da arte, devem ser atualizadas ou otimizadas as ferramentas de modelação e promovida a sensibilização de que conceções ou intervenções inadequadas poderão colocar em causa quer a segurança das pessoas e bens, quer a sustentabilidade dos sistemas. (Lima, 2013)

Sendo assim, de forma a acautelar o constante risco de inundações, é importante o projeto de sistemas de drenagem cuja eficiência e sustentabilidade sejam elevadas.

Surge, então, o conceito de drenagem sustentável, cujo objetivo é regenerar o ciclo hidrológico natural, através da incorporação de novas técnicas com a finalidade de amortecer os caudais de ponta e atenuar o nível de poluição presente nas águas das chuvas descarregadas nos meios recetores. (Lourenço, 2014)

A drenagem sustentável favorece o controlo do escoamento superficial na proximidade do local onde a precipitação atinge o solo, ou seja, o controlo do escoamento será realizado diretamente na fonte. A redução do escoamento ocorre através da infiltração do excesso de água no subsolo, recorrendo à evaporação e evapotranspiração.

A evaporação corresponde ao processo de passagem da água do estado líquido ao estado gasoso. Relativamente à evapotranspiração, esta deve-se ao conjunto dos processos de evaporação e de transpiração, o que constitui a perda de água que ocorreria em condições de solo perfeitamente abastecido de água para uso da vegetação.

A aplicação de técnicas como de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis, derivante do termo anglo-saxónico *Sustainable Urban Drainage Systems*, cuja sigla é SUDS, permitem que as questões hidrológicas das áreas urbanizadas se assemelhem o mais possível às que ocorreriam em situações sem urbanização.

De notar que daqui em diante, quando se utiliza a sigla SUDS, está-se a fazer referência aos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis.

2.2. CICLO HIDROLÓGICO

O Ciclo Hidrológico, ou Ciclo da Água, corresponde à troca contínua de água entre solo e atmosfera.

A existência de água na Terra é um fenómeno cíclico e renovável. A renovação ocorre através de uma trajetória cíclica da água, o Ciclo Hidrológico que, se vai descrevendo desde as massas de água onde se acumula (mares, lagos) até à atmosfera e retorno das mesmas massas de água (Tentúgal Valente, 2020).

Apesar de tanto o início como o fim do ciclo não serem exatos, é costume considerar que este se inicia com a evaporação da água do mar e da superfície do solo.

Analizando o planeta Terra, pode-se afirmar que a água se move dentro de um sistema fechado, sem entrada nem saídas significativas através das suas fronteiras. A radiação solar é o agente de dinamização do ciclo hidrológico, em particular, da evaporação da água e a criação de correntes de convecção na atmosfera (Tentúgal Valente, 2020).

O Ciclo Hidrológico é dividido em dois ramos: o ramo aéreo, essencialmente relacionado com as componentes atmosféricas (evaporação, transporte atmosférico e precipitação); o ramo terrestre, constituído pela evaporação direta no solo (infiltração no solo, escoamento superficial e absorção em plantas).

O ramo terrestre é condicionado pela morfologia da superfície terrestre, afetando os processos de infiltração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo. Desta forma, qualquer alteração provocada no ciclo hidrológico numa dada zona de uma bacia hidrográfica tem uma área de influência definida pelos limites dessa bacia (Tentúgal Valente, 2020).

2.3. CICLO URBANO DA ÁGUA

Enquanto o Ciclo Hidrológico é um processo natural, o Ciclo Urbano da Água está sujeito à ação humana em cada fase do percurso.

O Ciclo Urbano da Água é constituído pelos procedimentos referentes à captação, distribuição, recolha, transporte e devolução. Todo este ciclo, representa uma parcela do Ciclo Hidrológico notada pela intervenção humana.

O Ciclo Urbano da Água abrange todas as etapas percorridas pela água, desde que é recolhida por um sistema de captação ou coleta de água, passando pela sua utilização (consumo), até à devolução ao meio hídrico recetor (Tentúgal Valente, 2021).

A água captada nas reservas naturais tem de ser submetida a tratamento para que possa ser utilizada, uma vez que não possui condições de potabilidade adequada ao consumo humano. Este procedimento, geralmente ocorre nas Estações de Tratamento de Água (ETA).

O esquema tipo do Ciclo Urbano da Água aparece referenciado na Figura 3.

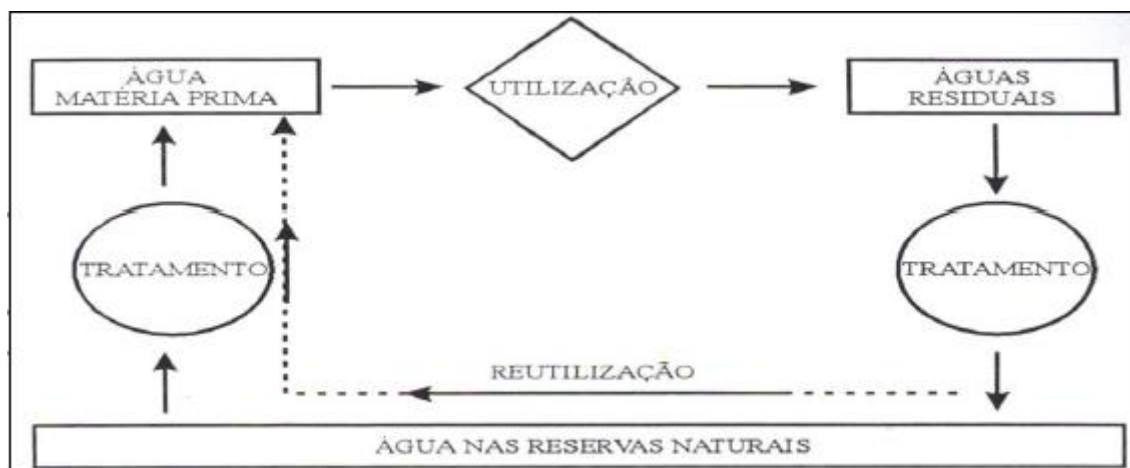


Figura 3 - Esquema do Ciclo Urbano da Água (Tentúgal Valente, 2020)

Após a utilização, a qualidade da água resultante é alterada e degradada, tomando-se necessário proceder ao tratamento de modo que a sua devolução aos meios recetores e reservas naturais se realize de modo a não alterar as condições existentes. Quando o meio recetor não apresenta a capacidade de deputação suficiente para reestabelecer a qualidade satisfatória às águas residuais, revela-se necessário que estas se conduzam a uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), onde recebem um tratamento adequado antes da rejeição.

O Ciclo Urbano da Água permite encerrar todos os processos de abastecimento de água potável e de drenagem e tratamento das águas residuais.

2.4. SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

Essencialmente, os sistemas de drenagem pública de águas residuais são constituídos por redes de coletores, instalações de tratamento e dispositivos de descarga final.

As águas residuais podem ser consideradas como domésticas, industriais e pluviais. As águas residuais domésticas provêm de instalações sanitárias, cozinhas e zonas de lavagem de roupa. As águas residuais industriais derivam da atividade industrial. Já as águas residuais pluviais, ou simplesmente pluviais, resultam da precipitação atmosférica caída diretamente no local ou em bacias (Diário da República, DL 23/95).

Fundamentalmente, o objetivo dos sistemas de drenagem é a recolha, transporte e rejeição nos meios recetores, em condições adequadas, das águas residuais domésticas e industriais e as águas residuais pluviais (Lima, 2013).

2.4.1. TIPOS DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

Em Portugal, os sistemas de drenagem pública de águas residuais podem ser (Diário da República, DL 23/95); (Lima, 2013):

- Unitários – constituídos por uma única rede de coletores, onde são admitidas águas residuais domésticas, industriais e pluviais;
- Separativos – constituídos por duas redes de drenagem de natureza distinta, sem ligações entre si. Uma destina-se à drenagem de águas residuais, quer domésticas, quer industriais, enquanto a outra está reservada apenas à drenagem de águas pluviais;

- Mistos – constituídos por uma rede que abrange os dois tipos de sistemas anteriormente mencionados;
- Pseudo-separativos – constituídos por sistemas para os quais por inexistência de coletores pluviais, admite-se a ligação de águas provenientes de pátios interiores e terraços à rede de drenagem de águas residuais domésticas.

Realizando uma análise global, sob o ponto de vista ambiental, económico, técnico e de sustentabilidade, importa que as redes sejam do tipo separativo, porém nem sempre é possível

2.4.2 COMPONENTES DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

No que concerne à constituição dos sistemas de drenagem, é usual abordar os componentes que integram os sistemas de drenagem de águas residuais domésticas ou industriais, separadamente daqueles que incorporam os sistemas de drenagem de águas pluviais.

Tipicamente, as redes de drenagem domésticas são constituídas por diversos componentes, que se referem seguidamente (Lima, 2013) :

- Ramais de ligação – tubagens que proporcionam a condução das águas residuais domésticas dos sistemas privativos às infraestruturas públicas;
- Coletores, intercetores e emissários – os coletores e os intercetores são um conjunto de tubagens que intervêm na recolha e posterior transporte das águas residuais. Já os emissários, consistem em canalizações com função apenas de transporte, visto que não recebem contribuições ao longo do traçado.
- Órgãos acessórios
 - Câmaras de visita – caixas ou câmaras que permitem a inspeção e limpeza do coletor;
 - Câmaras de corrente de varrer – dispositivos manuais ou automáticos, com a função de remover sedimentos depositados nas tubagens;
 - Descarregadores de tempestades – proporcionam a evacuação de caudais de forma a não sobrecarregar os coletores;
 - Sifões invertidos – são canalizações rebaixadas, onde o escoamento ocorre à pressão, com o intuito de ultrapassar obstáculos que impeçam a passagem da canalização em linha reta;
 - Instalações elevatórias – usadas para vencer perfis ascendentes ou em situações onde, caso fosse necessário manter o escoamento por gravidade, o coletor atingiria profundidades excessivas.

2.4.3. COMPONENTES DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

As redes de drenagem de águas pluviais são compostas por (Lima, 2013):

- Redes de coletores – conjunto de canalizações, que visa assegurar a condução das águas pluviais desde os dispositivos de entrada até um ponto de lançamento ou destino final;
- Órgãos acessórios:
 - Sarjetas;
 - Sumidouros;
 - Câmaras de visita – permitem o acesso aos coletores
- Órgãos especiais e instalações complementares:

- Desarenadores – permitem a deposição do material granular transportando nas águas pluviais;
- Bacias de retenção – estruturas que desempenham a função de regulação de caudais pluviais. Após o evento pluvioso a água retida vai sendo libertada, de forma controlada, a fim de evitar inundações a jusante;
- Bacias de detenção – tal como as bacias de retenção, são estruturas que servem de regulação de caudais pluviais, mas com volume de água permanente;
- Câmaras de infiltração ou drenantes – proporcionam a retenção e infiltração de água pluvial;
- Instalações elevatórias – permitem elevar a água para cotas superiores;
- Descarregadores de emergência – facilitam a descarga de caudais de cheia, caso seja necessário

É importante salientar a importância do estudo dos sistemas de drenagem e a ação das bacias de retenção no âmbito desta dissertação.

2.5. AFLUÊNCIAS INDEVIDAS NOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

As afluências indevidas nos sistemas de drenagem de águas residuais são dos problemas mais frequentes dos sistemas de drenagem em geral, nomeadamente após fortes chuvadas.

De certa forma, a água entra nas redes através de irregularidades verificadas nas tubagens, muitas das vezes devido a problemas como aberturas existentes nas juntas da tubagem, fraturas e fadigas dos materiais constituintes dos coletores utilizados na rede e dos ramais domiciliários. Também poderá ocorrer associada a problemas de corrosão nas câmaras de visita, ligações às tubagens e entrada superficial pelas tampas (Amorim, 2007).

A infiltração num sistema de drenagem de águas residuais deve-se, então, à pluviosidade, ligações pluviais às redes de drenagem, proximidade de aquíferos e estado de conservação da rede. Esta infiltração pode ser direta, caso resulte da contribuição de fenómenos pluviométricos, ou indireta, se ocorrer associada à proximidade dos coletores ao nível freático (Amorim, 2007).

Caso a rede de drenagem se encontre próxima do nível freático, é expectável que a rede de coletores origine uma maior afluência de caudais de infiltração, visto que a extensão de coletores será maior que a extensão de emissários e interceptores. Embora as redes de emissários e interceptores transportem um caudal superior comparativamente com os sistemas em “baixa”, é nesta rede que ocorrem a maioria das afluências indevidas (Amorim, 2007).

Situações deste género podem originar múltiplos problemas nos sistemas de drenagem, como a entrada da rede em carga, possível extravasamento para as ruas, falta de capacidade de bombagem em estações elevatórias e de capacidade de tratamento das estações de tratamento e aumento das descargas de emergência, com os inerentes problemas associados à poluição dos meios recetores (Amorim, 2007).

2.6. IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NOS SISTEMAS

A urbanização introduz um aumento considerável da área impermeável, implicando um aumento de caudal à superfície. Este aumento irá depender da natureza da superfície urbana e pode variar conforme a tempestade.

As superfícies artificiais aumentam a quantidade de superfície de escoamento em relação à infiltração e, portanto, aumentam o volume total de água que chega ao rio após ou durante a chuvada. O escoamento superficial avança mais rapidamente do que o escoamento natural, induzindo um aumento do caudal de ponta. Desta forma, o perigo de inundação súbita do rio é maior e a qualidade da água é alterada, visto que o escoamento superficial implica o arrastamento de potenciais sedimentos e poluentes até ao rio (Butler, 2018).

Na Figura 4, é possível identificar os efeitos que a urbanização exerce nos caudais de ponta.

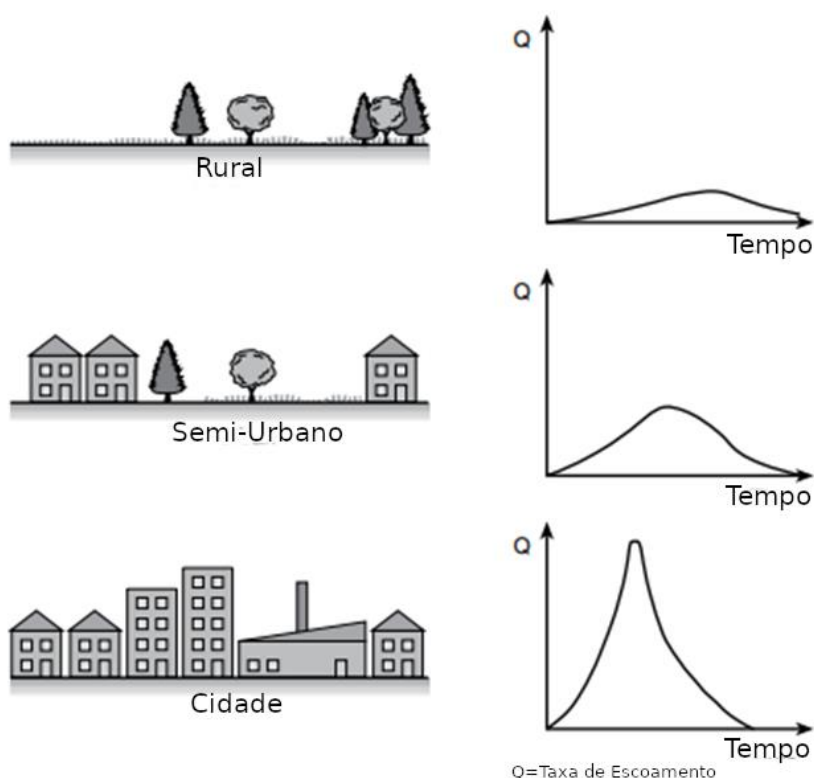


Figura 4 - Efeito da urbanização no hidrograma de cheia e respetivo caudal de ponta (Adaptado de Butler, 2018)

Portanto, quanto maior a expansão dos centros urbanos, quer a nível territorial e/ou populacional, maior é a necessidade de a rede de drenagem ser altamente eficaz, e complementada de sistemas de apoio de forma a reduzir os impactos das inundações.

Associada à urbanização, também se pode verificar um aumento da poluição nos cursos de água. Neste caso, os constituintes da rede de drenagem podem ser afetados de forma negativa, introduzindo problemas funcionais à rede, além da diminuição da qualidade da água dos rios.

2.7. SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEIS (SUDS)

De forma a atenuar os impactos causados nas redes de drenagem pela expansão da urbanização, podem ser aplicados sistemas de drenagem que possam contribuir para o desenvolvimento sustentável e permitam melhorar os espaços que usufruímos no nosso quotidiano.

Essencialmente, estes sistemas (SUDS) visam a mitigação dos impactos ambientais associados ao planeamento urbano tradicional. De forma a alcançar esse objetivo, os sistemas são dimensionados de forma a imitar a natureza, gerindo a precipitação perto do local onde esta cai.

Do ponto de vista da engenharia, os sistemas pretendem uma ligação eficaz entre o serviço prestado pelo sistema urbano e os problemas relacionados com a impermeabilidade.

Estes sistemas são considerados benéficos para o ambiente, pois os danos causados no ambiente são praticamente nulos a longo prazo. Considera-se que são uma sequência de boas práticas de gestão e de estratégias para drenagem de águas superficiais que, permitem, de forma bastante eficiente, minimizar os impactos causados no meio ambiente.

A filosofia dos SUDS é a replicação, o mais perto possível, das condições de drenagem naturais de uma área antes do desenvolvimento urbano (Woods-Ballard, et al., 2007).

2.7.1. OBJETIVOS DOS SUDS

Os projetos de SUDS têm como objetivo a redução do escoamento, através da interligação de sistemas de controlo de águas pluviais, de tamanho reduzido, um pouco por toda a área de aplicação do sistema. Fundamentalmente, minimizam o impacto da expansão urbana sobre a quantidade e qualidade do escoamento, maximizando as oportunidades de amenidade e biodiversidade (Woods-Ballard, et al., 2007). Os objetivos encontram-se representados na Figura 5.

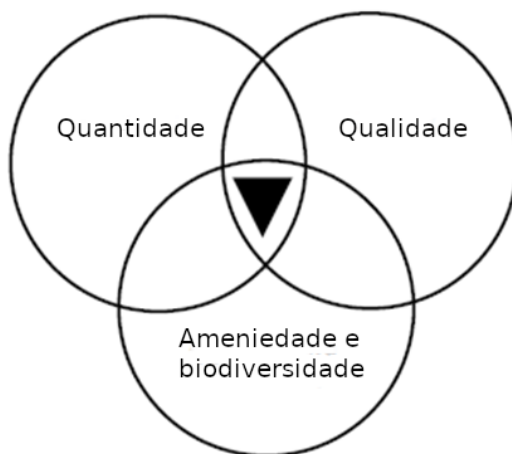


Figura 5 - Objetivos dos SUDS (Adaptado de Woods-Ballard, et al., 2007)

Para Woods-Ballard, et al., 2007, estes sistemas devem respeitar os quatro pilares fundamentais:

- Controlo da quantidade da água;
- Controlo da qualidade da água;
- Amenidade;
- Biodiversidade.

2.7.2. SISTEMAS DE DRENAGEM CONVENCIONAIS VS. SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

A drenagem urbana convencional é definida pelo sistema de condutas pluviais a nível dos loteamentos ou da rede primária urbana, o que propicia a ocupação do espaço urbano de uma forma artificial,

adaptando-se ao sistema de circulação viária. Aqui, é possível identificar: sumidouros, sarjetas, câmaras de visita, coletores, entre outros elementos constituintes dos sistemas de drenagem.

Estes tipos de sistemas têm como objetivo a eliminação da água da chuva o mais rapidamente possível para longe da fonte, se possível logo após o tratamento.

Já os sistemas de drenagem sustentáveis, permitem atenuar os caudais de ponta e a contaminação que pode ser verificada na fonte. Tentam controlar e tratar a água utilizando sistemas naturais (solo, vegetação, lagos) para evitar a sobrecarga das Estações de Tratamento de Águas Residuais, protegendo assim os ecossistemas urbanos. Reduzem, ainda, os riscos relacionados com inundações através da introdução de novos recursos de aproveitamento da água pluvial (Arbelo, 2017).

2.7.3. REQUISITOS FUNCIONAIS

Existem diversas abordagens possíveis, relativamente à instalação de SUDS nas cidades. O tipo de SUDS a aplicar na área de trabalho estará interligado com as características do local, a urbanização já existente, a legislação e propriedades do solo.

De forma ao equipamento ser funcional, este deve oferecer adequadas capacidades de laminação e purificação. Deve, então, responder à captação de um determinado volume afluente que, depois, deve ser gerido de forma que o caudal efluente não seja prejudicial ao funcionamento do sistema.

2.7.4. BACIA DE RETENÇÃO COMO SUDS

Atendendo à aplicação de uma bacia de retenção em meio urbano, pode-se considerar que esta constitui uma aplicação de um Sistema de Drenagem Urbana Sustentável, no meio recetor.

As bacias de retenção representam um contributo sustentável na gestão da drenagem e planeamento urbano. Através da sua introdução em ambiente urbano, está-se a combater a tendência verificada no nosso país onde a drenagem é vista como forma de escoar a água proveniente da chuva o mais rapidamente possível.

A solução para o que pode ser considerado o novo paradigma da gestão de drenagem urbana, passa pela conceção e implantação de técnicas e procedimentos tecnicamente compatíveis com o desenvolvimento sustentável (Matos, 1999).

Através da aplicação de medidas de controlo na origem, os problemas de drenagem urbanas possivelmente são mitigados. As medidas de controlo na origem não são nada menos que o conjunto de soluções técnicas, implementadas a montante das redes de coletores, cujo objetivo passa por minimizar os efeitos da elevada impermeabilização das áreas urbanizadas (Bichançã, 2006).

Em grosso modo, é possível melhorar a infiltração das águas pluviais, assim como da retenção temporária, de forma a reduzir a afluência pluvial ao sistema de coletores.

3

BACIAS DE RETENÇÃO

3.1. FUNDAMENTOS

As bacias de retenção estão entre os métodos de SUDS mais implementados um pouco por todo o planeta. São bastante utilizadas devido à relação custo-benefício que propõem. Uma boa execução do projeto apresenta vantagens a nível estético e ambiental.

As bacias de retenção são estruturas de armazenamento de águas pluviais, com o objetivo de regularizar o escoamento pluvial afluente, amortecendo os caudais de ponta e permitindo compatibilizar o seu valor com limites previamente fixados, ou impostos pela capacidade de vazão do meio recetor ou de um coletor ou emissário existente ou a construir (Avilez-Valente, 2020).

Correspondem a lagoas artificiais, com lâmina de água permanente, rodeada por vezes recorrendo a vegetação, tanto nas áreas emersas como submersas. São concebidas de forma a promover, para longos períodos de retenção, a sedimentação e a absorção de nutrientes pela vegetação. O seu dimensionamento é realizado para que apresentem uma massa de água permanente, cujo fundo seja impermeável. Além disso, devem conter um volume de armazenamento adicional para a laminação dos caudais de ponta.

As lagoas reduzem significativamente o volume de escoamento e são muito eficazes na remoção de sólidos em suspensão e metais pesados, porém requerem muito espaço (Trapote Jaume & Rodríguez, 2016).

Está presente no Decreto Regulamentar n.º 23/95, Secção II, Artigo 176.º, a finalidade das bacias de retenção:

- i. *As bacias de retenção são estruturas que se destinam a regularizar o escoamento pluvial afluente, amortecendo os caudais de ponta e permitindo compatibilizar o seu valor com limites previamente fixados.*
- ii. *Para além do aspeto fundamental de regularização dos caudais afluentes, as bacias de retenção podem ainda, segundo os seus tipos, apresentar as seguintes vantagens:*
 - a) *Contribuir para o melhoramento da qualidade das águas pluviais;*
 - b) *Contribuir para o melhor comportamento do sistema de drenagem global onde se encontram integradas, quando da ocorrência de precipitações excecionais;*
 - c) *Possibilitar a constituição, quando se trate de bacias de água permanente, de polos de interesse turístico e recreativo, especialmente quando integradas no tecido urbano ou em zonas verdes;*
 - d) *Constituir reservas contra incêndios ou para fins de rega.*

Deste modo, as bacias de retenção constituem, indubitavelmente, um instrumento de gestão do escoamento com um perfil multifuncional. Para além de permitirem amortecer o pico do escoamento evitando perturbações a jusante (como inundações e afluições indevidas de maior magnitude, por exemplo), podem ainda possibilitar a mitigação de cargas poluentes do escoamento através de processos físicos, químicos e biológicos de tratamento, o controlo da erosão, o enriquecimento da paisagem e o seu uso recreativo, o armazenamento de água para combater incêndios, o fornecimento de água para rega, a recarga de aquíferos, entre outras aplicações várias (Baptista, 2021).

3.2. OBJETIVOS DAS BACIAS DE RETENÇÃO

3.2.1. REGULARIZAÇÃO DOS CAUDAIS DE PONTA E REDUÇÃO DOS RISCOS DE INUNDAÇÃO

O impacto provocado no meio ambiente pelas alterações climáticas e o aumento das áreas impermeabilizadas existentes, introduz a necessidade de criar estruturas de apoio, de forma a impedir/reduzir as anomalias verificadas a jusante. Se, porventura, não for efetuado um controlo dos caudais, as redes de drenagem e até mesmo os próprios rios, ficam expostas a uma sobrecarga que coloca em causa o bom funcionamento dos sistemas.

Muitas das vezes, de forma a contrariar as ocorrências de inundações, são criadas redes de drenagem que constituem uma passagem da inundação de um ponto da bacia para outro.

Como forma de reforço das redes de drenagem, a criação de bacias ou lagoas de acumulação de águas pluviais configura uma solução funcional que permite regularizar o escoamento afluente, através do diferimento dos caudais de ponta e da sua compatibilização com limites previamente fixados ou impostos pela capacidade de vazão de meios recetores, coletores ou emissários ou a construir a jusante (Avilez-Valente, 2020).

3.2.2. MEIO AMBIENTE

Por vezes e nomeadamente como resultado das primeiras precipitações após estiagem, a água pluvial está bastante poluída. Essa poluição resulta, fundamentalmente, da ação erosiva no solo (como transporte, por exemplo, de sólidos em suspensão e nutrientes) e da ação de lavagem dos pavimentos e outras superfícies impermeabilizadas. A água pluvial pode, ainda, conter matéria sedimentável ou não, partículas arenosas, matéria orgânica, óleos, gorduras, hidrocarbonetos, corpos flutuantes de maior ou menor dimensão, microrganismos patológicos, etc. (Matias, 2006).

As matérias presentes na água, contribuem para a turvação da água, enquanto os corpos flutuantes podem causar obstruções de equipamentos, como é o caso em coletores.

Assim sendo, proceder à sua descarga direta sem qualquer tipo de tratamento adequado pode originar um conjunto de problemas de índole ambiental, onde se realça o aumento de sólidos em suspensão, o aumento da carga bacteriológica, a diminuição do oxigénio dissolvido e a contribuição para a ocorrência de eutrofização nos meios recetores (Mano, 2008); (Gaspar, 2013).

De forma a combater o impacto negativo no ambiente, faz sentido a aplicação, nas bacias de retenção, de vegetação, que permita diminuir a concentração de poluentes (por via gravítica) e de materiais sólidos suspensos (recorrendo à decantação).

Através da capacidade de filtragem oferecida pela vegetação e da diminuição da velocidade do escoamento provocada pelo aumento da resistência hidráulica, ou ainda através de eventuais dispositivos dissipadores de energia que possam existir, o teor de sólidos em suspensão diminui, reduzindo a turbidez da água e potenciando a sua qualidade (Baptista, 2021).

Os benefícios para a qualidade da água de uma bacia com vegetação aumentam à medida que o tempo de retenção é mais longo (Woods-Ballard, et al., 2007).

Para garantir a máxima eficiência de remoção de poluentes em bacias vegetadas, os caudais devem, preferencialmente, ser distribuídos por toda a área da bacia. No entanto, quando houver preocupações sobre como manter uma parte da base da bacia seca, uma área discreta da bacia pode ser rebaixada para restringir eventos frequentes dentro de uma área especificada (Woods-Ballard, et al., 2007).

Em casos onde não há qualquer tipo de pré-tratamento, as bacias de retenção podem incluir um reservatório de montante, ou bacia de pré-sedimentação como também é denominada, para conter numa área mais restrita os resíduos acumulados. Embora isso possa resultar em áreas inutilizáveis e pouco atraentes, o que pode não ser aceitável para espaços públicos (Woods-Ballard, et al., 2007).

Mediante a aplicação ou promoção de outros mecanismos físicos, químicos ou biológicos no interior destas bacias, outros elementos nocivos como materiais tóxicos, nutrientes em excesso, metais pesados ou outros podem também ser significativamente reduzidos (Bichanço, 2006).

3.2.3. POTENCIAL PAISAGÍSTICO E RECREATIVO

Uma das vantagens da implementação de bacias de retenção é a criação de zonas de lazer. Aquando da sua integração com as zonas verdes pertencentes aos ambientes urbanos, consegue-se tirar proveito do melhor de dois mundos: o aumento da biodiversidade/proteção do meio ambiente da área em causa e a integração social que aparece acoplada à criação das zonas destinadas ao lazer.

Além disso, a área envolvente da bacia de retenção com parques poderá contribuir para a dinamização da zona em causa, e desta forma, do município onde é aplicada.

O recurso a bacias de retenção é do agrado de muitos arquitetos paisagistas, urbanistas e cidadãos em geral pela criação de espelhos de água com valia estética e paisagística e pelo incremento de biodiversidade, quer para obras públicas quer privadas (Mano, 2008).

3.2.4. FONTE DE RESERVAS DE ÁGUA

Face à crescente necessidade de água, as pequenas unidades de armazenamento podem adquirir um papel importante face a necessidades agrícolas, como a rega, no combate a incêndios ou em atividades industriais e municipais, como na limpeza de arruamentos e parques (Piqueiro, 2014).

Visto que nestas situações se pretende uma reserva permanente de água, de modo a serem evitadas infiltrações, é necessário ter em conta as características do solo e o respetivo posicionamento do nível freático. Os solos devem ser constituídos à base de argila e silte, com índices de plasticidade superiores a 10% e com espessura não inferior a cerca de 1 m. Caso contrário terá de se aplicar bacias com fundo impermeável (Mano, 2008).

3.3. CONSTITUIÇÃO

A constituição de uma bacia de retenção irá depender dos fins do projeto, da tipologia, do modo de desempenho e do local de implementação da mesma. Cada bacia tem especificidades e elementos constituintes particulares.

Conforme o Decreto Regulamentar n.º 23/95, Secção II, Artigo 178.º, as bacias de retenção superficiais, tais como, as bacias secas e as bacias de água permanente, devem conter na sua constituição:

- Corpo: inclui o fundo e bermas e resulta do aproveitamento possível das condições topográficas locais;
- Dispositivos de funcionamento normal: destinados a assegurar a regularização do caudal efluente e a manutenção de um nível mínimo a montante, no caso de bacias de água permanente;
- Dispositivos de segurança: descarregadores de superfície e eventualmente diques fusíveis, destinados a garantir o esgotamento das águas em condições excecionais;
- Descarga de fundo: objetivo de assegurar o esvaziamento da bacia de retenção em operações de limpeza e manutenção, podendo também funcionar como sistema de segurança.

3.4. DISTINÇÃO ENTRE BACIAS DE RETENÇÃO E BACIAS DE DETENÇÃO

Durante o processo de revisão literária desta matéria em específico, verificou-se uma diferença de terminologia entre a bibliografia nacional e a internacional.

Na bibliografia americana, os conceitos de bacia de retenção e detenção são interpretados de forma diferente em relação aos conceitos utilizados em Portugal. Na literatura anglo-saxónica, o termo *retention* é associado a uma retenção de água permanente, independentemente do período de estiagem, sendo exclusivamente associado a bacias permanentes (*retention basins*). Já o termo *detention* é mais abrangente, podendo aparecer associado a um armazenamento temporário de causais, entre períodos de precipitações, sendo assim, associado a bacias secas (*dry retention basins*). Pode ainda ser relacionado a bacias permanentes, denominadas como *wet detention basins*.

Todavia, na legislação portuguesa, não é feita referência relativamente a bacias de retenção, quer no Decreto Regulamentar 23/95, quer na norma NP EN 752:2017. Apenas é apresentada, a distinção das bacias de retenção em secas e permanentes.

Existe, no entanto, literatura nacional, designadamente Lima, 2013, que identifica o conceito de bacia de detenção exclusivamente como bacias permanentes, em evidente oposição à terminologia anglo-saxónica ou americana, supramencionada.

Desta forma, nesta dissertação, é seguida a ideologia portuguesa, de forma a se enquadrar no contexto nacional e dar continuidade aos trabalhos já realizados na FEUP.

3.5. TIPOLOGIAS DE BACIAS DE RETENÇÃO

O Decreto Regulamentar português n.º 23/95 apresenta na Secção II, Artigo 177.º, os diferentes tipos de bacias de retenção que podem existir:

- i. As bacias de retenção podem ser:
 - a. Subterrâneas, formando verdadeiros reservatórios de regularização enterrados;

- Adicionalmente, Matias, 2006, refere que enquanto estruturas físicas e hidráulicas, as bacias de retenção podem ser classificadas consoante:

- As bacias superficiais, consoante o seu comportamento hidráulico ou regime de armazenamento, podem se subdividir em:

- ### 3.5.1. BACIAS EM SÉRIE (ON-LINE)

Este tipo de bacias é característico das bacias de água permanente (Lourenço, 2014).

3.5.2. BACIAS EM PARALELO (OFF-LINE)

Geralmente, estas bacias são de menor dimensão e exigem menores custos de manutenção, uma vez que são menos afetadas pela acumulação de sedimentos (Matias, 2006).

19

3.5.3. BACIAS SUBTERRÂNEAS

Também conhecidas por enterradas, estas bacias encontram-se, como o próprio nome indica, abaixo do nível do solo, formando reservatórios de regularização. Utilizam-se quando não é possível recorrer a bacias a céu aberto, maioritariamente, por indisponibilidade do terreno em áreas densamente ocupadas, ou se porventura, a sua execução a céu aberto não seja economicamente viável (Lourenço, 2014).

Devido ao facto de serem bacias enterradas, o seu esvaziamento, após períodos chuvosos, pode ser executado de duas formas diferentes: recorrendo a sistemas de bombagem ou métodos gravíticos, para uma cota mais baixa (se possível) (Lourenço, 2014).

As estruturas são, geralmente, executadas em betão armado ou em materiais sintéticos como, por exemplo, PEAD, PP ou aço.

3.5.4. BACIAS SUPERFICIAIS

As bacias superficiais, ou a céu aberto, de um modo geral, constituem um reservatório ao ar livre, construídos em terra, com taludes reforçados ou diques de proteção lateral.

Este tipo de bacias está intrinsecamente relacionado com preocupações de integração paisagística e valorização de áreas de lazer (Lourenço, 2014).

Adicionalmente, estas bacias são mais polivalentes do que as anteriores, daí a maior utilização destas. O desenho da bacia pode assumir várias formas, desde um estilo natural a irregular, até formal ou geométrico. Tal dependerá do uso planeado para o espaço e dos respetivos objetivos de tratamento de escoamento, paisagísticos, recreativos ou de biodiversidade para cada local (Woods-Ballard, et al., 2007).

Podem resultar da simples interceção de uma linha de água num local de fisiografia favorável, ou seja, aproveitando depressões naturais, com solos de resistência e características adequadas, escavando novas depressões, com taludes reforçados ou proteções laterais, ou devido à construção de aterros, podendo resultar da simples interceção do escoamento recorrendo a uma pequena barragem ou açude (Matias, 2006); (Woods-Ballard, et al., 2007); (Baptista, 2021).

As bacias superficiais, contribuem, ainda, para a integração paisagística da bacia, fundamental para o dinamismo dos espaços urbanos.

Uma utilização interessante deste tipo de bacias, verifica-se na *Waterplein Square*, traduzida para português como “praça da água”, em Roterdão, nos Países Baixos. É caracterizada pelo facto de perante as condições de pluviosidade, proporciona três reservatórios de água ao ar livre. Em tempo seco, funciona como uma praça usual, com áreas de lazer, prática desportiva, comércio, etc.



Figura 6 - "Praça da Água", Roterdão, Países Baixos (Fonte: Regenerative Design, 2022; Rotterdam Innovation City, 2022)

3.5.4.1. BACIAS SECAS

As bacias secas são concebidas, de forma a se encontrarem, durante grande parte do tempo, sem água, à exceção de durante e pouco tempo após os eventos pluviosos (Woods-Ballard, et al., 2007).

O escoamento é acumulado apenas em períodos específicos que, correspondem à ocorrência de precipitações mais ou menos significativas, devendo, em qualquer situação, a bacia esvaziar-se completamente em 72 horas. Em casos onde o ocorre um armazenamento superior a este tempo pode tornar a bacia ineficaz e conduzir a condições anaeróbicas com produção de maus odores e eventual nidificação de mosquitos (Avilez-Valente, 2020).

Como a Figura 7 demonstra, bacia seca requer que, em períodos de chuva, o nível freático máximo atingido se situe abaixo da cota de fundo da bacia.

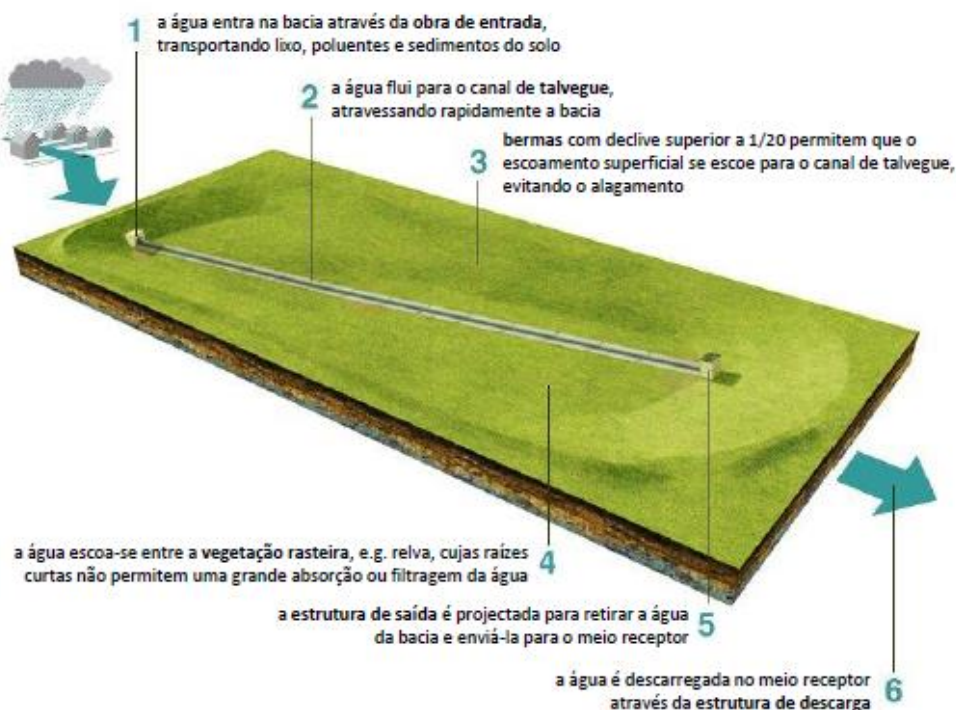


Figura 7 - Esquemática de uma Bacia Seca (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)

De forma a poder garantir a regularização do caudal a jusante, é instalado um dispositivo de tomada de água, com caudal de descarga máximo igual a Q_T , onde Q_T corresponde ao caudal do escoamento superficial afluente, em condições de pré-urbanização, cujo período de retorno é T (Avilez-Valente, 2020).

Adicionalmente, a tomada de água para o caudal Q_T , deverá ser colocada ao nível máximo correspondente ao volume de retenção para o período de retorno imediatamente inferior (Avilez-Valente, 2020).

O nível freático em períodos de chuva deve permanecer abaixo da cota do fundo da bacia.

Através da implantação deste tipo de bacia, é possível garantir uma deposição de sólidos suspensos na ordem de 40 a 60%, utilizando como chuvada de cálculo uma chuvada com capacidade de erosão suficiente. Relativamente ao caudal efluente, o tempo de retenção deverá encontrar-se no intervalo de 12 a 24 horas, necessitando da instalação de uma tomada de água com controlador de caudal para este efeito (Avilez-Valente, 2020).

Geralmente, a regularização de caudais obriga à existência de descarregadores a vários níveis, sendo necessário proceder ao cálculo dos respetivos volumes de retenção. Usualmente, os descarregadores são implementados considerando períodos de retorno correspondentes a 2 ou 10 anos (Avilez-Valente, 2020).

Apesar de em países como os EUA, Reino Unido e Irlanda, se calcular o volume de retenção máximo (de cheia) para uma chuvada com período de retorno igual a 100 anos, em Portugal não existe atualmente uma fixação para este valor (Avilez-Valente, 2020).

A Figura 8, ilustra uma tomada de água de uma bacia superficial seca típica.

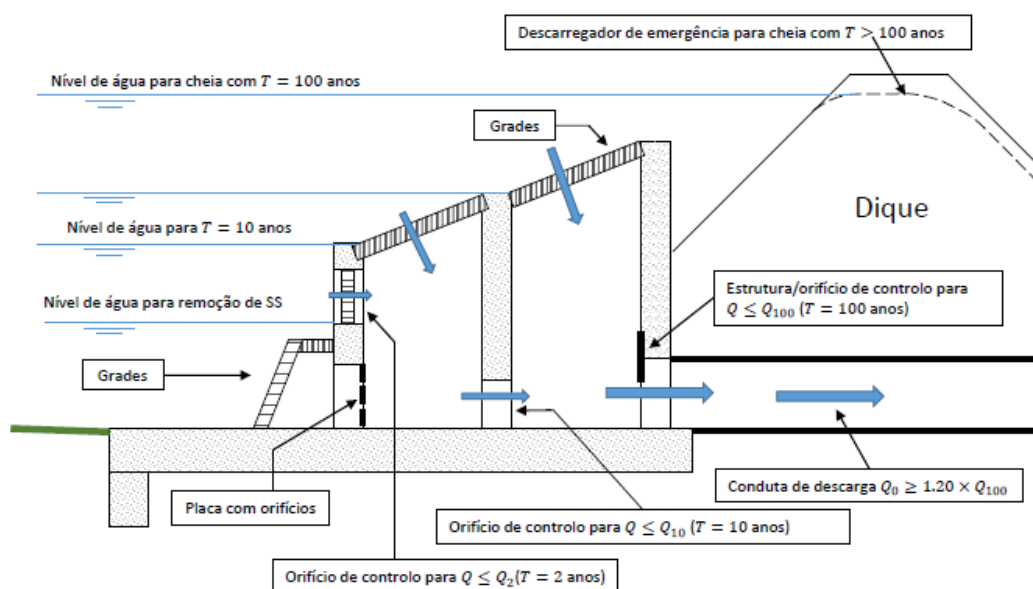


Figura 8 - Esquematização da tomada de água de uma bacia superficial (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)

Estão presentes no Decreto Regulamentar n.º 23/95, Secção II, Artigo 180.º, alguns aspetos construtivos a considerar na implantação de bacias secas, nomeadamente:

- i. A inclinação do fundo não deve ser inferior a $1/20$, para impedir a formação de zonas alagadas e as inclinações dos taludes das bermas, não podem exceder $1/6$ ou $1/2$, consoante sejam ou não transitáveis.

Para Woods-Ballard, et al., 2007, a máxima profundidade de água numa bacia seca não pode exceder os 2 metros no evento mais extremo previsto no projeto. Porém, podem ser exigidas profundidades máximas menores, por razões de segurança.

A Figura 9, demonstra um perfil transversal tipo de uma bacia seca, respeitando os aspetos construtivos propostos pelo DR 23/95.

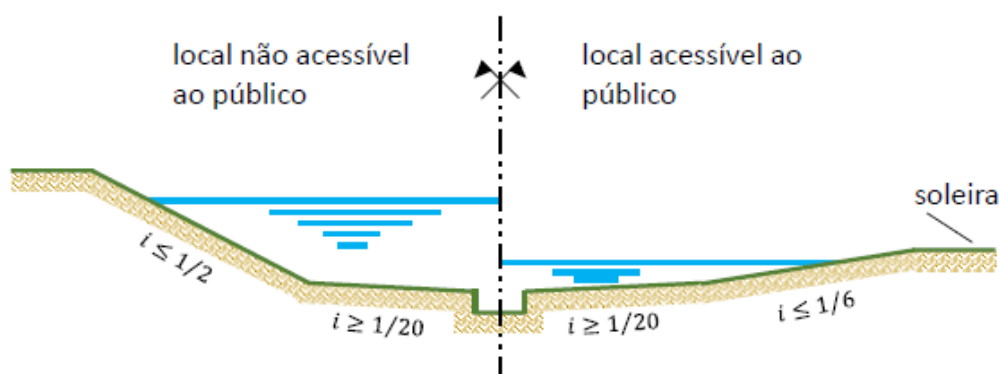


Figura 9 - Perfil transversal tipo de uma bacia seca (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)

3.5.4.2. BACIAS DE ÁGUA PERMANENTE

As bacias de água permanente, também conhecidas por bacias de detenção (na bibliografia portuguesa), são concebidas de forma a deterem água permanentemente, mesmo em períodos de ausência de precipitação, aumentando temporariamente o volume armazenado nos períodos chuvosos (Woods-Ballard, et al., 2007) ; (Matias, 2006).

Caso as bacias de água permanente sejam implementadas e exploradas seguindo as especificações recomendadas, conseguem viabilizar o amortecimento de escorrências superficiais, o que possibilita um tratamento mais depurador em comparação às bacias secas. Será possível atingir valores de redução de SS na ordem de 70 a 90% (enquanto a redução das anteriores ronda os 40 a 60%), dependendo do tempo de retenção e do rácio entre volume de retenção e volume permanente (Avilez-Valente, 2020).

Relativamente ao tempo de retenção necessário para garantir a eficaz deposição dos sólidos suspensos, deve ser garantido um tempo de retenção entre as 12 e as 24 horas (tal como nas bacias secas). Já o rácio mínimo entre volume de retenção e volume permanente deverá ser 1:1 (Avilez-Valente, 2020).

O nível freático atingido em tempo seco é o condicionante, sendo necessário que se encontre a uma cota superior à cota do fundo da bacia. Desta forma, é possível assegurar a alimentação permanente. Para ser garantido um nível de água permanente, do ponto de vista qualitativo e quantitativo, é essencial a realização de um estudo cuidadoso do balanço entre as afluências (escoamento pluvial afluente, alimentação da toalha freática) e efluências do escoamento (evaporação, infiltração, escoamento para jusante) (Avilez-Valente, 2020).

Por vezes, poderá existir a necessidade de dispor de uma bacia de fundo impermeável, natural ou artificialmente, para impedir a infiltração, por receio de contaminação das águas subterrâneas e assegurar a manutenção do nível de água pretendido (Matias, 2006); (Baptista, 2021).

A Figura 10, ilustra um possível esquema de uma bacia de água permanente.

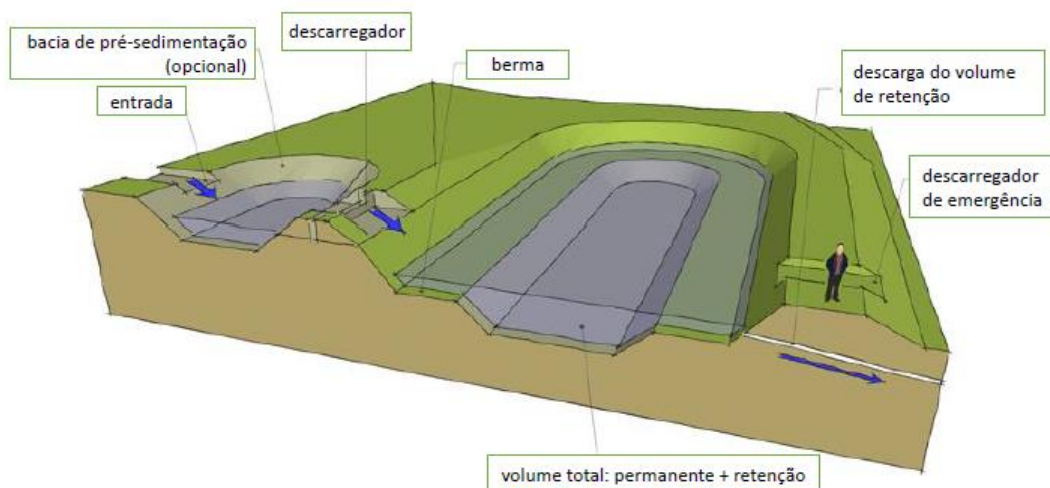


Figura 10 - Esquemática de uma bacia de água permanente (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)

Tal como nas bacias secas, nas permanentes, também podem ser instalados descarregadores, sendo necessário proceder ao cálculo dos respetivos volumes de retenção. A Figura 11 exemplifica uma tomada de água de uma bacia de água permanente.

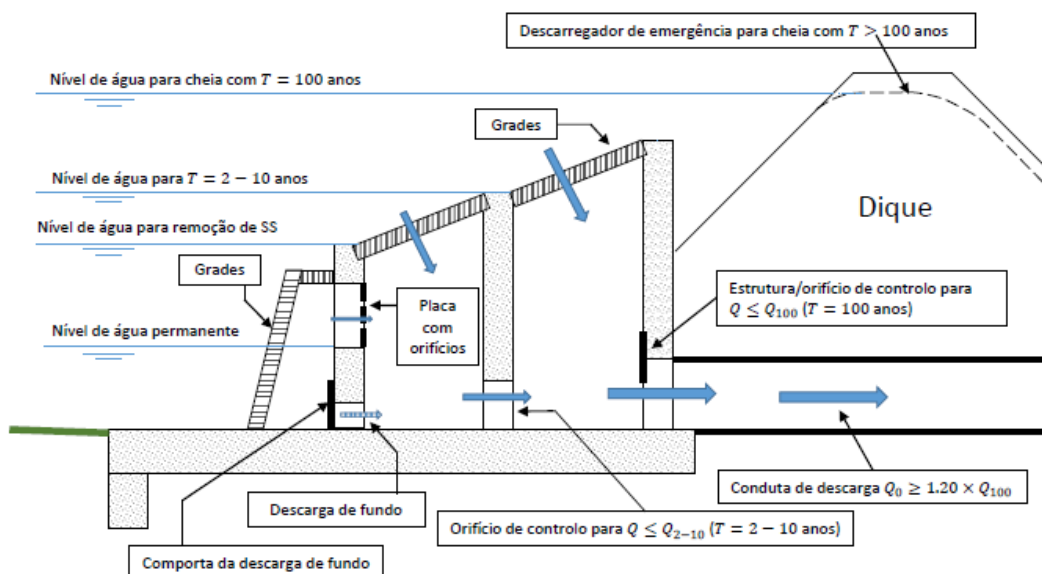


Figura 11 - Esquemática de uma tomada de água de uma bacia de água permanente (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)

Mais uma vez, no Decreto Regulamentar n.º 23/95, Secção II, Artigo 180.º, são referidos os aspetos construtivos a cumprir para as bacias de água permanente, nomeadamente:

- i. Nas bacias de água permanente é aconselhável existir, em tempo seco, uma lâmina líquida permanente de altura não inferior a 1,5 metros, a fim de evitar o desenvolvimento excessivo de plantas aquáticas e possibilitar vida piscícola;
- ii. Estando a bacia de água permanente integrada em zona urbana, deve-se prever uma variação do nível de água de cerca de 0,5 metros para a precipitação do período de retorno escolhido e assegurar-se o tratamento conveniente das bermas, considerando nomeadamente:
 - a. Taludes relvados com inclinação não superior a 1/6;
 - b. Parâmetros verticais de 0.75 metros de altura, ao longo dos quais se verificam as variações de nível da água;
 - c. Bermas de 2 a 4 metros de largura, no coroamento dos parâmetros verticais, por razões de segurança.

É importante salientar que caso se imponham profundidades algo acentuadas, podem ocorrer problemas de estratificação térmica, o que pode originar fenómenos anaeróbios nas camadas de fundo. Além disso, existe a necessidade de dispor de bacia de fundo impermeável, quer esta seja natural ou artificial (Mano, 2008); (Gaspar, 2013).

Finalmente, Woods-Ballard, et al., 2007, recomendam para este tipo de bacias, um rácio comprimento/largura mínimo de 3:1. Para os autores, este rácio deve, idealmente, rondar os 4:1 ou 5:1. O perfil transversal de uma bacia de água permanente é possível de se observar na Figura 12.

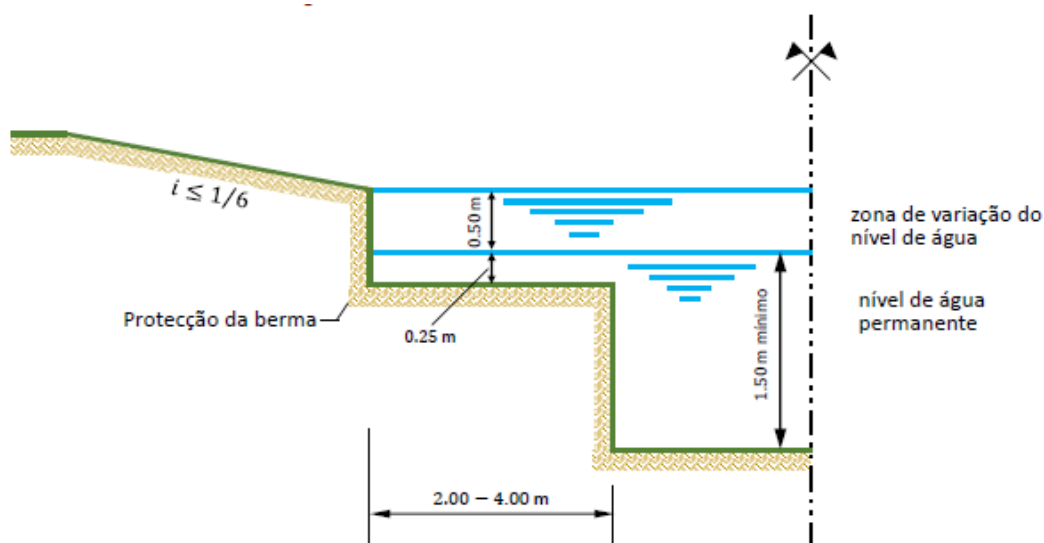


Figura 12 - Perfil Transversal de uma bacia de água permanente (Adaptado de Avilez-Valente, 2020)

3.6. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Segundo Avilez-Valente, 2020, o dimensionamento hidráulico de uma bacia de retenção consiste no cálculo do volume necessário ao armazenamento do volume afluente, correspondente à precipitação com um determinado período de retorno ou a um hidrograma de cheia conhecido, por forma que o caudal máximo efluente não ultrapasse um determinado valor preestabelecido.

O dimensionamento hidráulico de uma bacia de retenção consiste, fundamentalmente, na definição do volume necessário à regularização do caudal afluente, por forma a que o caudal máximo efluente não ultrapasse, para um determinado período de retorno, um caudal aceitável a jusante (Piqueiro, 2014).

Desta forma, a esse volume corresponderá uma determinada área inundada e uma determinada carga hidráulica, sobre a bacia, também determinada no processo de dimensionamento (Piqueiro, 2014).

No âmbito da realização do caso de estudo desta dissertação, como abordagem a considerar para a determinação do volume de armazenamento da bacia de retenção, vai ser utilizado o software SWMM.

Contudo, a utilização deste software não é a única forma de se proceder ao dimensionamento hidráulico. É referido no Decreto Regulamentar n.º 23/95, Secção II, Artigo 179.º, um processo de cálculo a aplicar nas bacias de retenção, sendo este o seguinte:

- i. *O dimensionamento hidráulico de uma bacia de retenção consiste no cálculo do volume necessário ao armazenamento do caudal afluente, correspondente à precipitação com um determinado período de retorno ou a um hidrograma de cheia conhecido, por forma que o caudal máximo efluente não ultrapasse determinado valor preestabelecido.*
- ii. *A natureza do problema a resolver, o grau de precisão requerido e a informação disponível condicionam o método de cálculo a utilizar.*
- iii. *Se não dispuser de um modelo de escoamento que permita gerar o hidrograma de entrada ou hidrograma de escoamento afluente, pode recorrer-se ao método simplificado.*
- iv. *O método simplificado baseia-se no conhecimento das curvas intensidade-duração-frequência aplicáveis à área em estudo e permite o cálculo do volume necessário para armazenar o caudal afluente resultante da precipitação do período de retorno escolhido, de modo que na descarga se obtenha um caudal, suposto constante, correspondente à capacidade máxima de vazão a jusante.*
- v. *O pré-dimensionamento do volume de armazenamento pode ser obtido pela expressão seguinte:*

$$V_a = 10 \left(-\frac{bq_s}{1+b} \right) \left[\frac{q_s}{a(1+b)} \right]^{\frac{1}{b}} CA \quad (1)$$

Com:

$$q_s = \frac{6q}{CA} \quad (2)$$

Onde:

V_a = Volume de armazenamento, em metros cúbicos;

q_s = caudal específico efluente, ou seja, o caudal por unidade de área efetiva da bacia de drenagem, em milímetros/minuto;

a, b = parâmetros da curva intensidade-duração;

q = caudal máximo efluente, em metros cúbicos/segundo;

A = área da bacia de drenagem, em hectares. ”

O caudal máximo efluente corresponde à capacidade máxima de vazão a jusante, ou ao caudal efluente de pré-urbanização para o mesmo período de retorno (Avilez-Valente, 2020).

É corrente a duração da precipitação crítica, ou seja, a duração da precipitação que conduz a uma maior necessidade de armazenamento, ser bastante superior ao tempo de concentração da bacia drenada. Através do método simplificado, previsto no regulamento nacional, é possível calcular a duração crítica (t_c), em minutos. Este método baseia-se no conhecimento das curvas I-D-F aplicáveis à área em estudo, permitindo o cálculo do volume necessário para armazenar o caudal afluente resultante de uma chuva crítica (Piqueiro, 2014); (Avilez-Valente, 2020).

$$t_c = \left(\frac{q_s}{a(1+b)} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (3)$$

Onde,

t_c – tempo de concentração crítico da bacia drenada;

a, b – parâmetros da curva intensidade duração;

q_s – caudal específico efluente.

(Página propositadamente deixada em branco)

4

DIMENSIONAMENTO DE REDES DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

4.1. INTRODUÇÃO

Para se proceder ao dimensionamento das redes de drenagem de águas pluviais é necessário calcular os caudais pluviais, ou seja, calcular a parcela proveniente da precipitação que se transforma em escoamento. O caudal a drenar depende então da intensidade de precipitação e das características da bacia de drenagem (Padrão, 2016).

A precipitação apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal e as bacias de drenagem em zonas urbanas são de características muito variadas, nomeadamente em termos de impermeabilidade de superfícies e dimensões (Padrão, 2016).

Existem vários procedimentos de cálculo para a determinação dos caudais. Estes métodos vão desde os mais simplificados até aos mais complexos, baseados em formulação complexas.

Muitas das vezes a primeira aproximação é suficiente para se proceder à obtenção dos valores máximos suscetíveis de serem atingidos pelos caudais de cheia, ou seja, as pontas de cheia. Para tal, foram desenvolvidos vários métodos teóricos: as fórmulas empíricas, fórmulas cinemáticas e os métodos estatísticos (Maia, 2020).

Em Portugal, o cálculo de caudais pluviais em áreas urbanas, normalmente, é realizado recorrendo a um método simplificado, também conhecido como método racional (Padrão, 2016).

A sua aplicação apresenta bons resultados em pequenas bacias, cuja área seja inferior a 25 km², algo que é típico das bacias e sub-bacias em ambiente urbano.

Tendo em conta que esta dissertação foca em sistemas de drenagem urbana, apenas será desenvolvido o método racional, assim como a sua aplicação para o cálculo de caudais de ponta e dimensionamento de redes de drenagem de águas pluviais.

4.2. MÉTODO RACIONAL

Os métodos cinemáticos de determinação da ponta de cheia são caracterizados por considerarem as características do movimento da água na bacia hidrográfica, expressas habitualmente através de parâmetros globais como o tempo de concentração (Maia, 2020).

A aplicação da fórmula racional à análise de cheias em Portugal tem constituído uma prática corrente, pelo menos em fases preliminares de estudo. Tal circunstância pode ajudar a contribuir para o facto de a fórmula não carecer de informação hidrométrica, fazendo apenas intervir intensidades médias das

precipitações com dados períodos de retorno e com durações iguais aos tempos de concentração das bacias hidrográficas (Portela & Hora, Aplicação da fórmula racional à análise de cheias em Portugal Continental: valores do coeficiente C, 2002).

A utilização do método racional requer, ainda, o conhecimento da área e dos tipos de ocupação do solo, ou seja, os coeficientes de escoamento. As curvas IDF são, também, necessárias para a aplicação deste método.

As curvas intensidade-duração-frequência, relacionam a intensidade da precipitação excecional com dado período de retorno com a respetiva duração. A relação entre a precipitação intensa e a duração dessa precipitação, designa-se por linha de possibilidade udométrica.

O método racional é, então, expresso por:

$$Q_p = CIA \quad (4)$$

Sendo,

Q_p – Caudal de Ponta (m^3/s)

C – Coeficiente de Escoamento (-)

I – Intensidade de Precipitação (m/s)

A – Área da bacia de drenagem (m^2)

Formulam-se, a seguir, algumas considerações relativas à aplicação da fórmula racional a uma dada bacia hidrográfica (Portela & Hora, Aplicação da fórmula racional à análise de cheias em Portugal Continental: valores do coeficiente C, 2002); (Padrão, 2016):

- A fórmula caracteriza precipitações de projeto correspondentes a intensidades médias, aproximadamente uniformes por toda a área da bacia;
- A intensidade de precipitação é uniforme durante um tempo igual ao tempo de concentração da bacia;
- A frequência do caudal de ponta é a mesma que a da intensidade de precipitação que lhe deu origem;
- O coeficiente de escoamento é igual para todas as precipitações, independentemente o tempo de recorrência.

Porém, apesar da grande utilidade que o método oferece, há que ter em conta as suas limitações, derivadas das simplificações realizadas ao longo da sua aplicação.

Primeiramente, o coeficiente de escoamento não deveria ser tomado como constante para todas as intensidades da chuvada. Como é sabido, a precipitação não é invariável no espaço e no tempo, pelo que a relação entre precipitação e escoamento é linear, o que traduz o coeficiente de escoamento. Quanto maior for a intensidade de precipitação, maior será, também, o coeficiente de escoamento. Desta forma, não estão a ser considerados os fenómenos de infiltração e retenção.

O método não reconhece, ainda, os efeitos de armazenamento na rede hidrográfica, que crescem consoante a área da bacia e a densidade da drenagem.

4.2.1. TEMPO DE RETORNO

O procedimento de cálculo dos caudais de ponta de cheia, para os quais os sistemas de drenagem devem ser dimensionados, requer a escolha do tempo de retorno.

O tempo de retorno consiste no intervalo de tempo estimado de ocorrência de um evento, ou seja, é o intervalo de tempo médio que decorre para que um determinado evento seja igualado ou excedido.

De certa forma, o tempo de retorno deve ser escolhido em função do risco que é aceitável ocorrer dentro do tempo de vida útil de uma obra. Deve, então, ser selecionado de forma cuidadosa, tendo em conta as consequências negativas para pessoas e bens que um caudal superior ao caudal de ponta pode introduzir no sistema (Padrão, 2016).

Geralmente, em sistemas de drenagens de águas pluviais, os períodos de retorno considerados para a fase de cálculo da intensidade de precipitação correspondem a 5 ou 10 anos.

4.2.2. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração (t_c) é o tempo necessário para que toda a sua área contribua para o escoamento superficial na secção de saída (Lencastre & Franco, 1984).

Pode também ser definido como o tempo necessário para que uma gota de água caída no ponto hidráulicamente mais afastado da bacia chegue à secção de saída (Lencastre & Franco, 1984).

O tempo de concentração de uma bacia é influenciado pelos seguintes parâmetros (Padrão, 2016):

- Forma da bacia;
- Inclinação média da bacia;
- Tipo de cobertura vegetal;
- Comprimento e inclinação do curso principal de água;
- Distância entre o ponto mais afastado da bacia e a sua saída;
- Condições do solo em que a bacia se encontra no início da chuva.

No método racional o tempo de precipitação é considerado igual ao tempo de concentração.

Para o dimensionamento de redes de drenagem de águas pluviais, considera-se um tempo de concentração entre 5 e 15 minutos, estando o de 5 minutos associado a zonas inclinadas e o de 15 minutos associado a zonas mais planas (Padrão, 2016).

Sendo que a zona em estudo é constituída por zonas dispersas no que diz respeito à inclinação, vai ser empregue um valor de tempo de concentração correspondente a 10 minutos, valor este que é aceitável considerando as condições topográficas da zona.

4.2.3. INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

A precipitação é representada pela intensidade média máxima para um período igual ao tempo de concentração da bacia. A intensidade de precipitação depende, então, da duração da precipitação e do tempo de retorno.

Quanto maior for o período de retorno, maior será a intensidade de precipitação, enquanto quanto maior for o tempo de precipitação, menor é a intensidade de precipitação.

O Decreto Regulamentar 23/95 prevê no seu Anexo IX, três regiões pluviométricas. Estas regiões pluviométricas encontram-se divididas em A, B e C e, consoante a região, período de retorno e tempo de concentração da chuvada, determina-se a intensidade de precipitação.

O país é dividido nas regiões A, B e C, da seguinte forma:

- Região A – inclui as áreas não referidas em B e C;
- Região B – compreende os concelhos de Alfândega da Fé, Alijó, Almeida, Boticas, Bragança, Carraceda de Ansiães, Chaves, Figueira de Castelo Rodrigo, Freixo de Espada À Cinta, Macedo de Cavaleiros, Meda, Mirando do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Murça, Penedono, Pinhel, Ribeira de Pena, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, São João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço, Torre de Moncorvo, Trancoso, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vila Nova de Foz Côa, Vila Real, Vimioso e Vinhais;
- Região C – compreende os concelhos das Regiões Autónomas dos Açores e Madeira, os seguintes concelhos do Continente: Guarda, Manteigas, Moimenta da Beira, Sabugal e Tarouca e as áreas situadas a uma altitude superior a 700 metros dos concelhos de Aguiar da Beira, Amarante, Arcos de Valdevez, Arganil, Arouca, Castanheira de Pera, Castro Daire, Celorico da Beira, Cinfães, Covilhã, Fundão, Góis, Gouveia, Lamego, Marvão, Melgaço, Oleiros, Pampilhosa da Serra, Ponte da Barca, Resende, Seia, S. Pedro do Sul, Terras do Bouro, Tondela, Vale de Cambra, Vila Nova de Paiva e Vouzela.

Na Figura 13, estão representadas as três regiões pluviométricas portuguesas.



Figura 13 - Regiões pluviométricas (A, B e C) de Portugal (Adaptado de Portela, 2006)

O cálculo da intensidade de precipitação deve, então, ser executado recorrendo às curvas IDF que permitem obter um valor em função das várias durações e para vários períodos de retorno.

As curvas IDF são obtidas através do tratamento estatístico dos registos históricos de precipitações num elevado número de anos, porém a sua utilização é recomendada apenas para bacias de área relativamente pequenas, como é o caso das bacias urbanas.

A expressão em vigor em Portugal que permite traçar as curvas IDF é a seguinte:

$$I = at_p^b \quad (5)$$

Sendo,

I – Intensidade de precipitação (mm/h)

t_p – Tempo de precipitação (min)

Os parâmetros a e b são adimensionais e, dependem da região pluviométrica e do período de retorno considerado e estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros a e b, consoante os períodos de retorno e as regiões pluviométricas A, B e C (Adaptado de Portela, 2006)

Período de Retorno (anos)	Regiões Pluviométricas			b
	A	B	C	
	a	a	a	
5	259.2	207.41	311.11	-0.562
10	290.68	232.21	348.82	-0.549
50	349.54	279.63	419.45	-0.524
100	365.62	292.50	434.75	-0.508

4.3. DIMENSIONAMENTO DOS COLETORES

Nos sistemas de drenagem de águas pluviais, os coletores funcionam em regime de superfície livre e, como tal, pode-se usar a fórmula de resistência de Manning-Strickler.

O tipo de coletor a utilizar ao longo do modelo serão os coletores de secção circular, pelo que todo o processo de dimensionamento a seguir, basear-se-á dos processos de cálculo relativos a estes.

Aplicando a fórmula de Manning-Strickler para condições de secção parcialmente cheia, o coletor apresentará um aspeto relativamente semelhante ao encontrado na Figura 14.

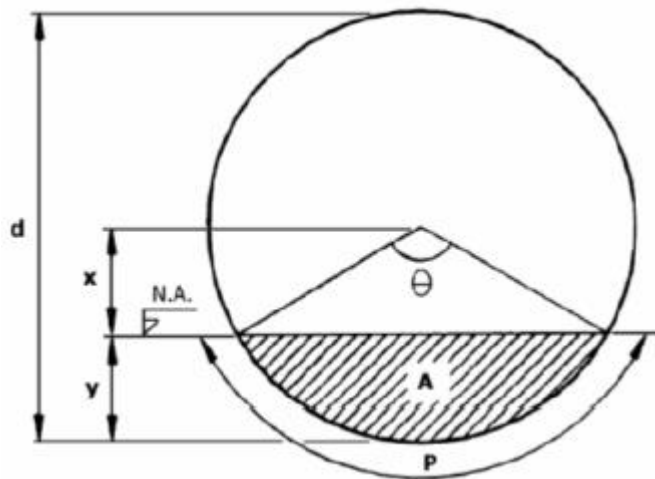


Figura 14 - Coletor Circular com secção parcialmente cheia (Tentúgal Valente, *et al.*, 2020)

O cálculo da secção molhada, A , e do raio hidráulico, R , no caso de secção cheia ou meia cheia é simples, mas em casos intermédios é necessário recorrer a relações geométricas com o ângulo θ , que por sua vez se relaciona com a altura de água, y . P representa o perímetro molhado e d o diâmetro do coletor.

De forma a iniciar-se o processo de dimensionamento dos coletores pertencentes ao sistema de drenagem de águas pluviais, foi aplicada a Fórmula de Manning-Strickler, com vista a recolher o diâmetro necessário da conduta.

A aplicação desta fórmula faz uso do caudal a drenar por parte do coletor, assim como do coeficiente de Manning-Strickler que depende do material da tubagem e das condições de implantação do coletor, neste caso, a inclinação do mesmo.

O coeficiente de Manning-Strickler utilizado será explicitado mais à frente na dissertação.

A Fórmula de Manning-Strickler utilizada, para a secção cheia, é a seguinte:

$$Q = K_s \left(\frac{\pi D^2}{8} \right) \left(\frac{D}{4} \right)^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Sendo,

Q – Caudal de cálculo (m^3/s);

K_s – Coeficiente de rugosidade de Manning ($\text{m}^{1/3}/\text{s}$);

D – Diâmetro do coletor (m);

i – Inclinação do coletor (%).

É de notar, que devido à legislação atualmente em vigor em Portugal, não é permitida a utilização de diâmetros inferiores a 200 mm. Mais à frente no trabalho, serão explicitadas todas as nuances da legislação portuguesa.

Depois de conhecido o diâmetro, é necessário aplicar um diâmetro que cumpra os requisitos funcionais do cálculo e que pertença à gama de diâmetros selecionada.

É, então, necessário quantificar as variáveis relativas ao dimensionamento hidráulico-sanitário, y/D e U , conhecidos Q , K_s e i .

A determinação das variáveis seccionais em regime uniforme, podem ser calculadas através das fórmulas explícitas, aproximadas, propostas por Malafaya-Baptista e Maria Fernanda Proença, cuja expressão será explicitada de seguida:

$$q = \frac{Q}{Q_0} \quad (7)$$

E dependendo do valor de q inferior ou superior a 1, temos:

$$\frac{y}{D} = 0.603 q^{0.466} e^{0.282 \cdot q}, \quad q < 1 \quad (8)$$

$$\frac{y}{D} = 0.921 \pm 0.046 \sqrt{46.887 - 43.449q}, \quad q \geq 1 \quad (9)$$

Analisando a Figura 14, é possível identificar a secção molhada, A , e o raio hidráulico, R . No caso de secção cheia ou meia cheia, o cálculo é simples, mas em casos intermédios é necessário recorrer a relações geométricas com o ângulo θ , que por sua vez se relaciona com a altura de água, y . P representa o perímetro molhado e d o diâmetro do coletor.

Apresentam-se de seguida, algumas relações que serão úteis para o dimensionamento e verificação hidráulica dos coletores:

$$\frac{y}{D} = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \quad (10)$$

$$S = \frac{D^2}{8} (\theta - \sin \theta) \quad (11)$$

$$R_H = \frac{D}{4\theta} (\theta - \sin \theta) \quad (12)$$

Consoante o cálculo da altura do escoamento (y), área (S) e raio hidráulico (R_H), é possível proceder ao cálculo da velocidade do escoamento (U), o que permite a verificação do comportamento do coletor, consoante as diretrizes propostas pelo Decreto-Regulamentar 23/95, no Artigo n.º 133.

$$U = K_s R_H^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

4.5. STORM WATER MANAGEMENT MODEL

De forma a desenvolver o estudo pretendido, recorre-se à modelação matemática. A modelação é utilizada para representar o comportamento da realidade, permitindo avaliar a resposta do sistema

quando sujeito a diferentes solicitações. Realça-se a possibilidade de modelar situações correntes e extraordinárias, quer na simulação de novos sistemas, quer na análise de sistemas existentes (Lima, 2013).

Na elaboração desta dissertação opta-se pela utilização do *Storm Water Management Model* (SWMM) da US EPA. O programa consiste num modelo dinâmico de precipitação-escoamento, utilizado para a gestão de drenagem urbana, que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas. É importante afirmar que o SWMM é apenas um software de simulação e nunca um software de dimensionamento (Piqueiro, 2021).

Segundo Piqueiro (2021), o SWMM desenvolve a simulação hidrológica, a modelação hidráulica e estima as alterações à qualidade da água ao longo do processo, numa escala temporal e espacial. Dispõe, ainda, de características gráficas, tais como:

- Disponibilidade de relacionamento com software gráfico, de desenho e topográfico;
- Introdução de dados em base gráfica;
- Visualização dos resultados das simulações em base gráfica e ordenada de diversas formas;
- Codificação do modelo em cores;
- Apresentação de mapas dos sistemas hidráulicos (por exemplo a rede de coletores);
- Apresentação de gráficos e tabelas de séries temporais e estatísticas de referência.

Assim sendo, as potencialidades de modelação permitem considerar: precipitações variáveis ao longo do tempo; evaporação de águas em reservatórios ou planos estagnados; acumulação e degelo da neve; interceção dos escoamentos pluviais por armazenamento em bacias de retenção; infiltração das precipitações em camadas de solo não saturadas; percolação da água infiltrada nas camadas dos aquíferos; troca de escoamentos entre os aquíferos e o sistema de drenagem; modelação dos escoamento superficial por ação de albufeiras e outros reservatórios; captação e retenção das precipitações e dos escoamentos em diversos dispositivos (Piqueiro, 2021).

A componente relativa ao escoamento superficial opera com um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem precipitações e geram escoamentos e cargas poluidoras. O SWMM acompanha a evolução da quantidade e da qualidade do escoamento dentro de cada sub-bacia, assim como a vazão, altura de escoamento e qualidade da água em cada tubagem e canal, durante um período de simulação constituído por múltiplos intervalos de tempo (Piqueiro, 2021).

Para se proceder à análise espacial, o escoamento superficial é conduzido das diversas sub-áreas, para as diferentes bacias ou entre os pontos de entrada de um sistema de drenagem, construindo no espaço o escoamento global, em função das características de conectividade entre os diversos órgãos do sistema, como é o caso das ligações entre as condutas, pluviómetros, bacias de retenção, entre outros (Piqueiro, 2021).

A modelação hidráulica é efetuada recorrendo a diversas ferramentas que são utilizadas para definir os escoamentos superficiais e as contribuições externas de adução ou vazão, através de uma rede de tubagens, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento de água. Estas ferramentas têm a funcionalidade de (Piqueiro, 2021):

- Manipular redes de tamanho ilimitado;
- Utilizar uma ampla variedade de geometrias para as tubagens e aquedutos, assim como para canais naturais;
- Modelar elementos especiais, tais como unidades de armazenamento e tratamento, divisores de caudal, descarregadores e orifícios;

- Considerar escoamentos externos do ponto de vista da quantidade e qualidade, tanto superficiais como subterrâneos;
- Utilizar o método da onda cinemática como o método completo da onda dinâmica para a propagação dos fluxos;
- Modelar distintos regimes de escoamento, tais como regolfo, entrada em carga, inversão do escoamento e alagamentos;
- Aplicar controlos dinâmicos, definidos pelo utilizador, para simular o funcionamento de bombas, a abertura de orifícios ou fixação de cotas de descarregadores.

É possível, ainda, além de modelar a geração e transporte do escoamento superficial, estimar a produção e evolução de cargas de agentes poluentes associadas a este tipo de escoamento. Os processos seguintes podem ser modelados para qualquer tipo de substâncias associadas à qualidade da água, previamente definidas (Piqueiro, 2021):

- Acumulação do poluente durante o tempo seco, para diferentes tipos de solo;
- Lixiviação do agente poluente como função do tipo de uso do solo;
- Contribuição direta decorrente da própria chuva;
- Redução da poluição acumulada devido à limpeza da rua;
- Redução da carga de poluentes arrastados pela enxurrada devidos a boas práticas de exploração;
- Entrada de águas residuais em tempo seco e outras contribuições externas a especificar, em qualquer ponto do sistema de drenagem;
- Propagação de substâncias associadas à qualidade da água ao longo do sistema de drenagem (modelação espacial);
- Redução na concentração do poluente por meio de tratamentos em reservatórios ou devido a processos naturais em tubagens, aquedutos, entre outros.

A utilização do SWMM nesta dissertação tem o objetivo de, essencialmente, proceder à modelação dos coletores de águas residuais na zona afeta após a urbanização, de forma a perceber se a introdução de um dispositivo, como as bacias de retenção, permite acautelar os potenciais problemas do escoamento na rede, quer a nível quantitativo, quer a nível qualitativo.

(Página propositadamente deixada em branco)

5

APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Neste capítulo irá ser apresentada a contextualização do caso de estudo. O estudo desenvolver-se-á sobre uma área parcelar da união de freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora.

5.1. MUNICÍPIO DE MATOSINHOS

O município de Matosinhos localiza-se no distrito do Porto, pertencendo à região Norte (NUTS II) e à Área Metropolitana do Porto (NUTS III), situando-se junto à foz do rio Leça. Aparece confinado com os concelhos de Vila do Conde (Norte), Maia (Este), Porto (Sul) e pelo oceano Atlântico (Oeste). A Figura 15, ilustra o concelho de Matosinhos.



Figura 15 – Representação geográfica do concelho de Matosinhos (Fonte: https://www.ine.pt/scripts/db_censos_2021.html)

5.1.1. PEQUENA INTRODUÇÃO HISTÓRICA DO MUNICÍPIO

Os primeiros indícios de povoamento do território do concelho remontam ao período Neolítico. Ainda é possível encontrar alguns vestígios de presença romana, como se pode verificar no castro de Guifões (INFOPÉDIA, 2022).

Matosinhos foi elevada a vila em 1853 sendo, na altura, constituída pela freguesia do mesmo nome e pela freguesia de Leça da Palmeira. Porém, só em 1909 é o concelho de Matosinhos surgiu tal como o conhecemos na atualidade (Junta de Freguesia de Matosinhos e Leça da Palmeira, 2022).

A construção do porto de Leixões implicou grandes alterações morfológicas no concelho, o que impulsionou o seu desenvolvimento económico, favorecendo a expansão industrial da zona. O mar serviu, não só de suporte para o transporte marítimo e fonte de recursos piscícolas, mas também como catalisador da vertente turística do município, algo que as famosas praias de Matosinhos e a marginal ajudam a comprovar (Junta de Freguesia de Matosinhos e Leça da Palmeira, 2022).

Desde a construção do porto de Leixões, no final do Século XIX, que a cidade de Matosinhos é considerada a principal porta de entrada à cidade do Porto (Junta de Freguesia de Matosinhos e Leça da Palmeira, 2022).

Incorpora as tradições piscatórias do litoral norte, mas também uma componente rural característica do município da Maia. É um concelho fortemente industrializado, tendo vindo nos últimos anos a dedicar-se ao setor terciário, mantendo as petrolíferas como principal indústria. Como indústrias de relevo temos a petroquímica, alimentar e conserveira, não olvidando do papel da atividade piscatória (Junta de Freguesia de Matosinhos e Leça da Palmeira, 2022).

5.1.2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E DISTRIBUIÇÃO POPULACIONAL

O concelho de Matosinhos apresenta uma área de cerca de 63.7 km² e atualmente é o nono município mais populoso do país, apresentando, para o ano de 2021, na sua totalidade, 172 586 habitantes. É, ainda, um dos concelhos mais densamente povoados (sétimo à geral), uma vez que apresenta, para o mesmo ano, uma densidade populacional de 2764.9 hab/km² (PORDATA, 2022).

Devido à reorganização administrativa do território das freguesias, de acordo com a Lei n.º 11-A/2013, de 28 de janeiro, o município de Matosinhos é, desde 2013, constituído por quatro uniões de freguesias: Custóias, Leça do Balio e Guifões; Matosinhos e Leça da Palmeira; Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo; São Mamede de Infesta e Senhora da Hora. A divisão atual em freguesias do município pode ser observada na Figura 16.

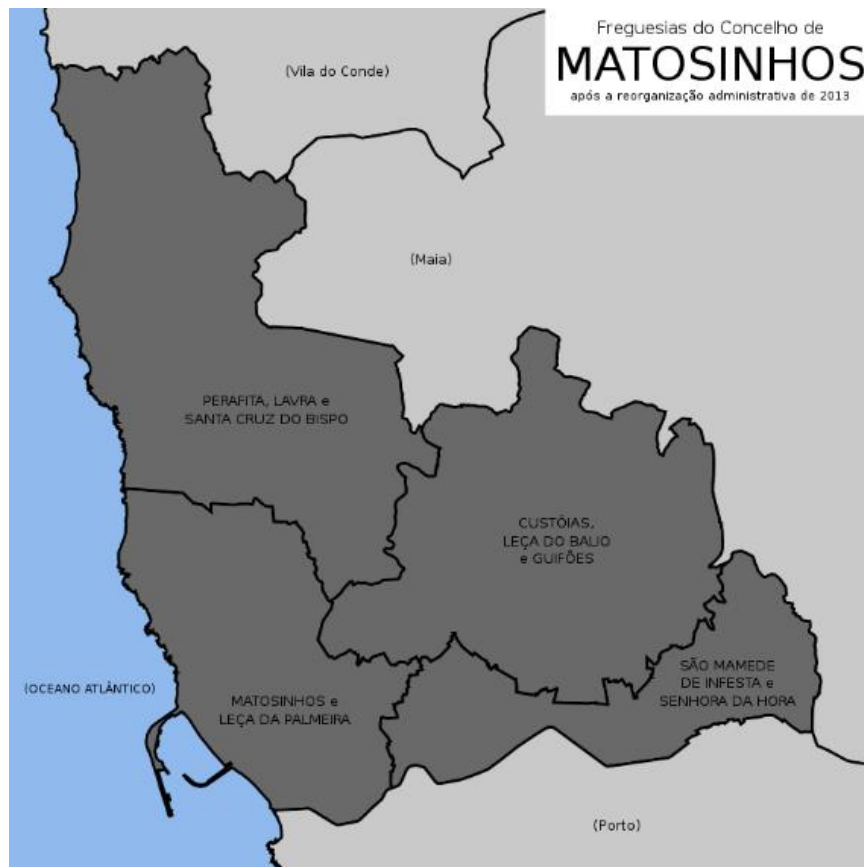


Figura 16 - Distribuição das Uniões de Freguesias (Fonte: Wikipédia)

Como forma de avaliar o crescimento populacional verificado no município para os últimos vinte anos, ou seja, no período entre os anos de 2001 e 2021, foi realizado um estudo que incidu sobre a área, população residente e a corresponde taxa de variação populacional verificada, ao nível das quatro uniões de freguesias existentes. Este estudo foi realizado com base em dados recolhidos no Instituto Nacional de Estatística e no portal da PORDATA.

Na Tabela 2, apresentam-se os resultados obtidos durante o estudo realizado.

Tabela 2 - População Residente, Densidade Populacional e Variação Populacional das Freguesias do concelho de Matosinhos

Freguesias	Área (km ²)	População Residente (hab)			Densidade Populacional (hab/km ²)			Variação Populacional (%)	
		2001	2011	2021	2001	2011	2021	2011 - 2001	2021 - 2011
Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo	25.2	27814	29407	29653	1102.9	1166.0	1175.8	5.4	0.8
Custóias, Leça do Balio e Guifões	18.2	43424	45716	44048	2391.2	2517.4	2425.6	5.0	-3.8
Matosinhos e Leça da Palmeira	11.3	45703	49486	49046	4051.7	4387.1	4348.0	7.6	-0.9
São Mamede de Infesta e Senhora da Hora	9.0	50085	50869	49839	5558.8	5645.8	5531.5	1.5	-2.1

Pela análise da Tabela 2, é possível identificar que três das freguesias do concelho apresentam um decréscimo populacional para os últimos dez anos, enquanto a união de freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo consegue ser a única onde se verifica um aumento populacional nos últimos dez anos.

Além disso, verifica-se que a união de freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora é aquela com maior número de habitantes e devido à sua reduzida área, é também aquela com maior densidade populacional.

5.1.3. ALTIMETRIA E HIPSOMETRIA

A altimetria compreende o processo de medição de altitudes, recorrendo a meios geodésicos ou barométricos.

No concelho de Matosinhos estão ausentes as grandes formas de relevo (Câmara Municipal de Matosinhos, 2020).

As localidades de Lavra, Leça da Palmeira, Perafita e Santa Cruz do Bispo situam-se a norte do rio Leça, sendo que as duas primeiras não ultrapassam a cota máxima de 50 metros, enquanto as duas últimas não ultrapassam os 70 metros (Câmara Municipal de Matosinhos, 2020).

Acima dos 70 metros situa-se a Senhora da Hora e mais para o interior, acima dos 90 metros situam-se Leça do Balio, São Mamede de Infesta e Custóias (Câmara Municipal de Matosinhos, 2020).

Pela análise da Figura 17 é possível identificar a elevação do concelho de Matosinhos.

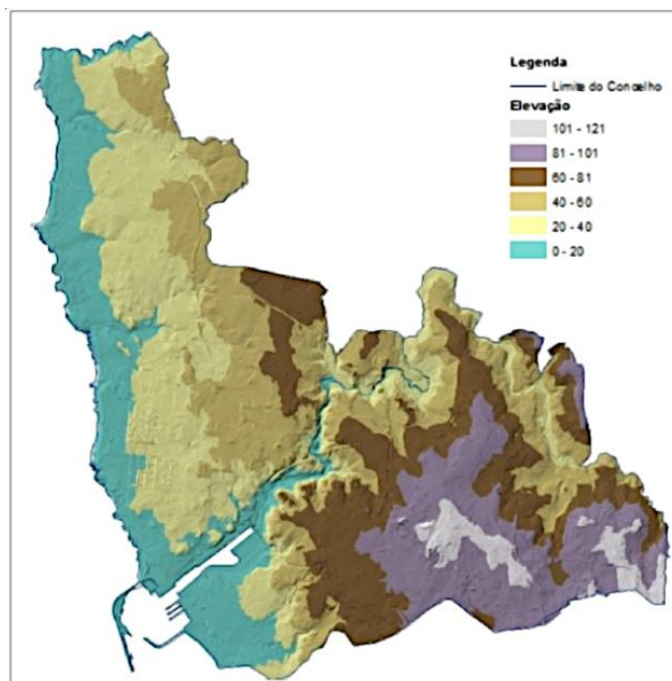


Figura 17 - Mapa altimétrico de Matosinhos (Adaptado de Câmara Municipal de Matosinhos, 2020)

A hipsometria consiste numa técnica de representação gráfica de altitudes. O mapa hipsométrico representa a variação de altitude de uma área em relação ao nível do mar, onde aí a altitude é zero. Fazendo uso de uma escala de cores, à medida que a cor vai ficando mais quente, maior é a elevação do terreno em relação ao nível do mar.

Focando agora a análise em São Mamede de Infesta, é possível verificar que os resultados não são muito diferentes dos observados para o município de Matosinhos.

Pela análise da Figura 18, grande parte da freguesia encontra-se entre os 90 e os 110 metros de altitude, sendo que zonas onde a altitude é superior a 110 metros são muito escassas. A classe de altitudes mais baixas (0-80 metros) corresponde a 20%. A classe de altitude médias (80-100 metros) corresponde a cerca de 55% do terreno estudado. Por último, a classe mais alta (100-120 metros) corresponde a 25% (Pareja-Obregón, 2021).

Questões relacionadas com a topografia/altitude do terreno serão fulcrais para o desenvolvimento do sistema de águas pluviais a implementar mais à frente.

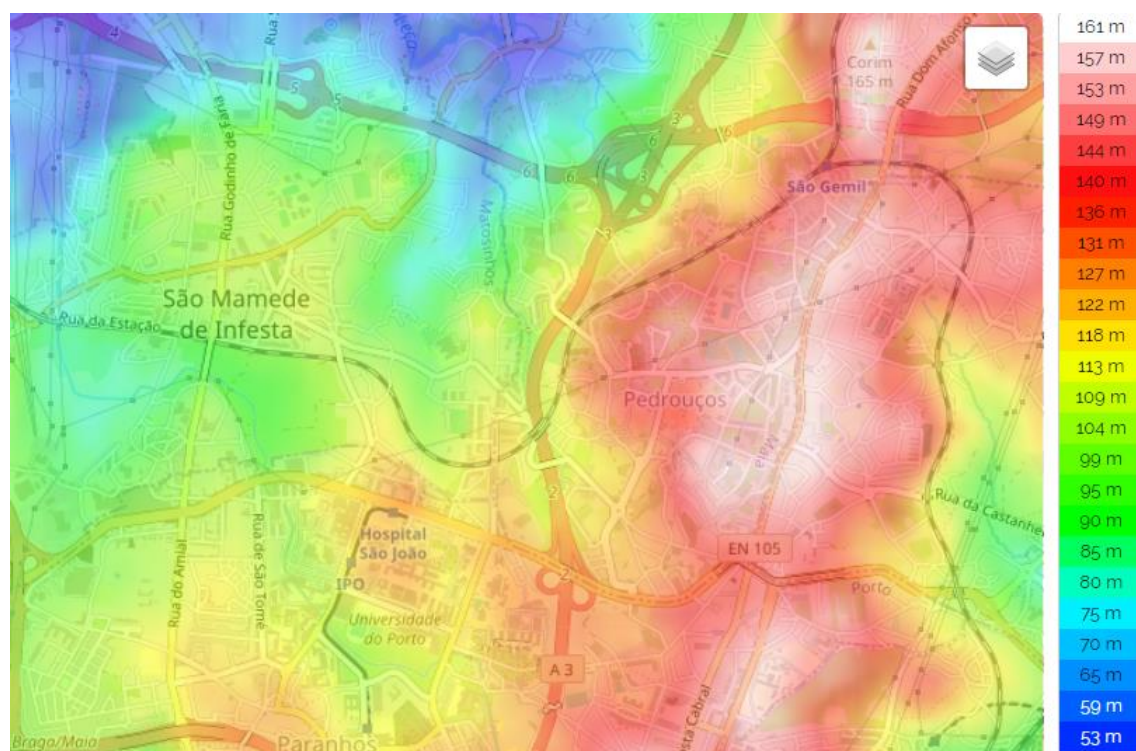


Figura 18 - Mapa Hipsométrico da freguesia de São Mamede de Infesta (Adaptado de Pareja-Obregón, 2021)

5.1.4. HIDROGRAFIA

Na análise da hidrografia tem especial interesse o número de cursos de água, a delimitação das suas bacias hidrográficas, o sentido do escoamento e o modo como os cursos de água se associam uns com os outros (Câmara Municipal de Matosinhos, 2020).

Segundo a Revisão do PDM de Matosinhos, o concelho estende-se pela bacia hidrográfica do rio Leça. Sete das dez localidades que o constituem estão, quase na sua totalidade, sobre a parte terminal da bacia hidrográfica do rio Leça. São Mamede de Infesta drena as suas águas pluviais diretamente no rio Leça.

A Figura 19 ilustra o mapa hidrográfico do concelho de Matosinhos.

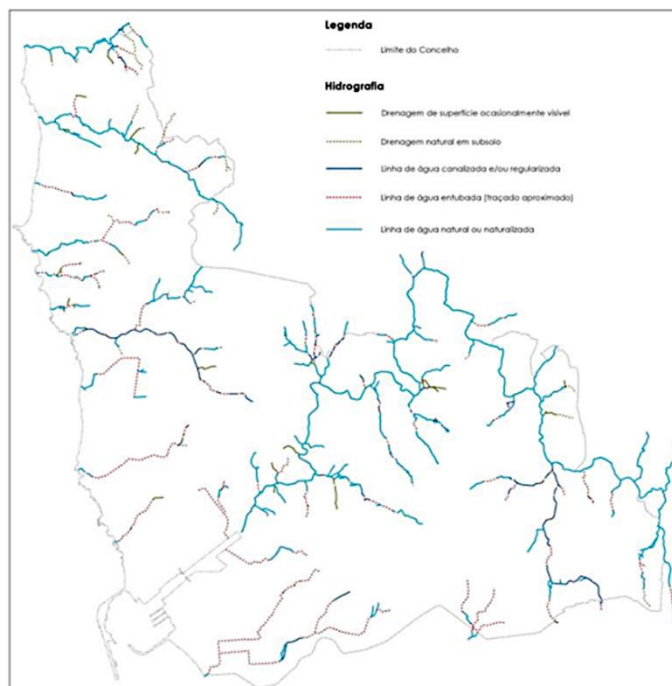


Figura 19 - Mapa Hidrográfico de Matosinhos (Adaptado de Câmara Municipal de Matosinhos, 2020)

5.1.5. PLUVIOSIDADE

Matosinhos apresenta um clima temperado fortemente marcado pela presença do oceano Atlântico, pelo que a amplitude térmica é baixa. Já a humidade atmosférica é elevada durante quase todo o ano. Os ventos mais frequentes são os vindos do quadrante Oeste, sendo os de Norte e Este também frequentes. A pluviosidade atinge valores anuais que variam entre os 1000 e os 1200 milímetros de precipitação.

5.1.6. OCUPAÇÃO DO SOLO

Para uma correta construção do modelo de ordenamento territorial, que tem como ponto de partida a classificação do solo em rústico e urbano, torna-se necessário proceder à análise e compreensão do Decreto Regulamentar n.º 15/2015, de 19 de agosto, na sua aplicação prática ao território de Matosinhos (Câmara Municipal de Matosinhos, 2020).

Para prossecução das classificações de solo, o Decreto Regulamentar n.º 15/2015 disponibiliza uma base harmonizada de critérios a observar pelo município no âmbito deste planeamento. Desta forma, como apresentado no ponto 2 do artigo 6.º, a classificação do solo rústico de Matosinhos foi sujeita aos critérios de classificação apresentados e a sua classificação pode ser observada na Figura 20 (Câmara Municipal de Matosinhos, 2020); (Silva, 2019).



Figura 20 - Classificação do solo como rústico (Adaptado de Câmara Municipal de Matosinhos, 2020)

De acordo com o ponto 2 do artigo 7.º, do Decreto Regulamentar n.º 15/2015, de 19 de agosto a classificação do solo como urbano compreende o solo total ou parcialmente urbanizado ou edificado e os solos urbanos afetos à estrutura ecológica. A sua distribuição pelo concelho de Matosinhos pode ser observada na Figura 21 (Câmara Municipal de Matosinhos, 2020).



Figura 21 - Situação existente de solo urbano para o concelho de Matosinhos (Adaptado de Câmara Municipal de Matosinhos, 2020)

5.1.7. ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO

A água para consumo humano distribuída na rede pública é adquirida à empresa Águas do Douro e Paiva, SA, que é concessionária do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água à Área Sul do Grande Porto (Câmara Municipal de Matosinhos, 2022).

A concessão da exploração e gestão dos serviços públicos municipais de abastecimento de água e de recolha, tratamento e drenagem de águas residuais do município de Matosinhos está entregue à firma Indaqua Matosinhos. Apresenta uma taxa de cobertura das necessidades dos consumidores de 100% (Câmara Municipal de Matosinhos, 2022).

5.2. UNIÃO DE FREGUESIAS DE SÃO MAMEDE DE INFESTA E SENHORA DA HORA

Tal como já fora referido no início do presente capítulo, o caso de estudo foca numa zona parcelar da união de freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora.

Esta união de freguesias advém da junção das freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora, em 2013.

Como apresentado na Tabela 2, a freguesia apresenta uma área de 9.0 km², 49839 habitantes (2021) e uma densidade populacional de 5531.5 hab/km². A Figura 16 apresenta a localização da freguesia em estudo.

A freguesia de São Mamede de Infesta aparece documentada nas inquirições de 1258 e nos censos de 1527 (União de Freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora, 2017).

A sua história e desenvolvimento estão intimamente ligados à situação geográfica da localidade. Durante a ocupação romana, já assumia papel de destaque, pois era considerada uma localidade privilegiada para implantação de infraestruturas de ligação entre o Porto (a Sul) e outras localidades mais a Norte, sendo esta uma das razões para o desenvolvimento de vias de comunicação que está intrinsecamente relacionada com o crescimento demográfico da freguesia. A Ponte da Pedra (Figura 22) um lugar de destaque de São Mamede, é apontada com um possível trajeto que ligava Lisboa à cidade de Braga (União de Freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora, 2017).



Figura 22 - Ponte da Pedra, São Mamede de Infesta (Fonte: <https://bussola-pt.com/211244/ponte-da-pedra>)

Outra característica do tempo de ocupação romana era a forte ligação entre a contiguidade territorial com as terras agrícolas da Maia e a cidade comercial do Porto (União de Freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora, 2017).

São também várias as referências feitas à importância do rio Leça que atravessa São Mamede de Infesta ao longo dos séculos. Em 1809, o general Soult, que comandava as tropas francesas durante a invasão ao Porto, escolheu a margem do rio Leça para instalar as suas tropas (União de Freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora, 2017).

As potencialidades urbanísticas e a riqueza dos recursos naturais levaram a que, tanto no fim do Século XIX como no início do Século XX, São Mamede fosse reconhecida como uma “lindíssima estância”, onde abundavam passeios de barco, piqueniques, bailes e tertúlias (União de Freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora, 2017).

6

CASO DE ESTUDO – SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

6.1. INTRODUÇÃO

Pretende-se, neste capítulo, realizar um projeto de simulação do Sistema de Drenagem de Águas Pluviais. O principal objetivo será a análise do comportamento hidráulico de uma rede de drenagem de águas pluviais, cuja abrangência corresponde a uma zona interior de uma área parcelar da união de freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora, mais concretamente, a zona delimitada a traço vermelho na Figura 23.



Figura 23 - Área de estudo a desenvolver (Fonte: Google Earth)

Com este caso de estudo, pretende-se analisar/avaliar o comportamento hidráulico da rede de drenagem de águas pluviais, para a zona afeta (Figura 23), perante uma série temporal, referente a uma chuvada específica, de forma que os resultados observados, após a instalação da bacia, se assemelhem o mais

possível aos caudais verificados anteriormente à expansão territorial verificada, onde a impermeabilização dos solos desempenha um papel fulcral nos escoamentos gerados.

Desta forma, surge a necessidade, do ponto de vista hidráulico, de construir um dispositivo de armazenamento, neste caso a bacia de retenção.

A principal função das bacias de retenção é, então, o controlo de caudal, assim como o controlo de quantidade das águas provenientes do escoamento superficial urbano, o que potencia a redução do impacto verificado nos sistemas de saneamento consoante os episódios de chuva, além de proteger o território perante situações de inundações ou cheias.

6.2. METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM ÁGUAS PLUVIAIS

Inicialmente, importa reduzir o escoamento gerado na fonte, através da conceção da rede, de forma a reduzir as superfícies impermeáveis. Assim, contribui-se para a reprodução das condições iniciais de desenvolvimento, isto é, aquelas referentes à situação onde não existia urbanização do território.

O critério de dimensionamento para a bacia de retenção a seguir terá por base a capacidade de armazenamento do volume de precipitação que não é excedido por eventos de chuva e a posterior descarga. Como produto do armazenamento temporário, teremos uma redução dos caudais de pico, a laminação, que seriam gerados por tempestades mais curtas e intensas.

É importante mencionar que todo o processo de dimensionamento tem por base o Decreto Regulamentar 23/95, de forma a assegurar o bom funcionamento da rede de drenagem.

Adicionalmente, todas as verificações e simulações realizadas foram executadas no software SWMM, de forma a validar as hipóteses de cálculo realizadas numa fase prévia da modelação, algo que será aprofundado do capítulo seguinte.

6.3. DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Antes de implementar o sistema de drenagem e por consequência o sistema de retenção, é necessário proceder ao reconhecimento do lugar, visto que o terreno acrescenta implicações diretas para o bom funcionamento dos sistemas, maioritariamente nos objetivos da rede, seleção do sistema de retenção e a sua integração no meio ambiente.

Sendo que a aplicação das técnicas de SUDS não serão iguais para todos os locais, é fulcral que todos os prós e contras possam ser identificadas nas primeiras fases do dimensionamento.

O ponto de saída do sistema de drenagem e, por conseguinte, o local onde será introduzido o sistema de retenção está representado na Figura 24.

A área de estudo da dissertação pertence à união de freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora, estando enquadrada na bacia hidrográfica n.º 22 do município de Matosinhos.

A área escolhida trata-se de uma zona residencial que forma uma bacia hidrográfica ideal para esta modelação, pois toda a sua área (cerca de 230 000 m²) drena para um único ponto localizado numa linha de água existente, como seria de esperar.

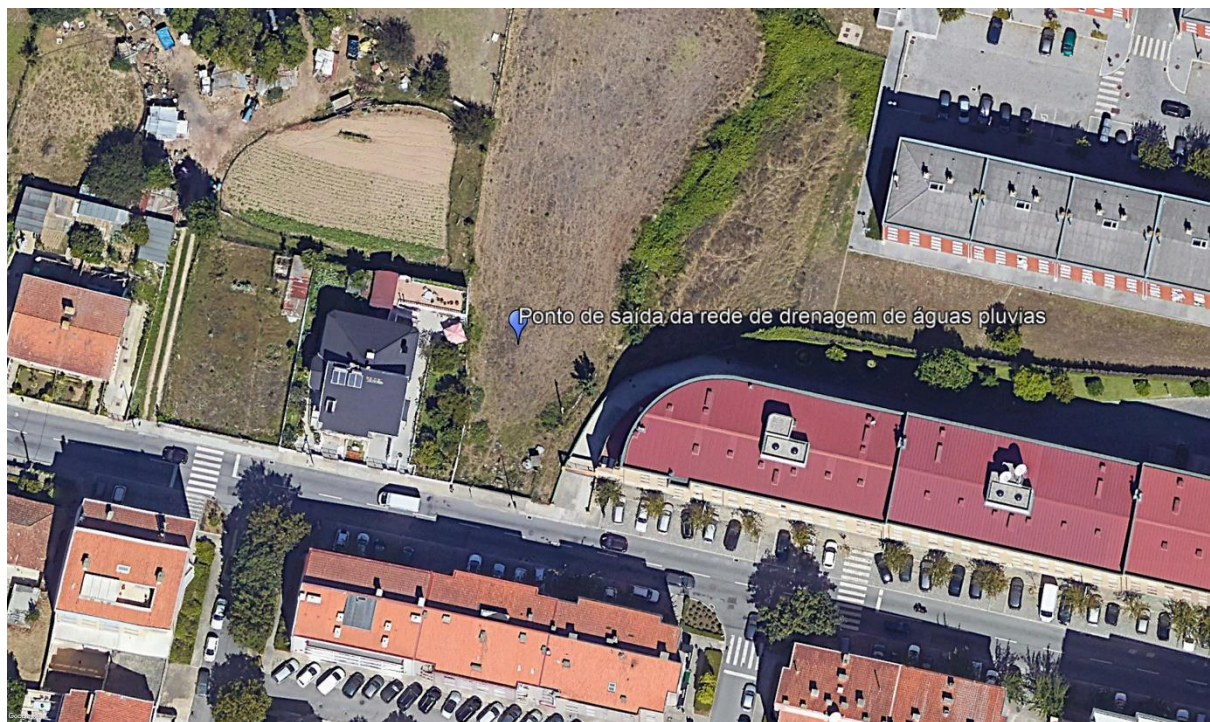


Figura 24 - Ponto de saída da rede de drenagem de águas pluviais (Fonte: Google Earth)

6.4. TERRITÓRIO

A área do território em estudo tem natureza predominantemente urbana, com ocupação mista, quer habitacional quer de equipamentos, como escolas e instalações desportivas.

A avaliação topográfica do terreno foi realizada tendo por base os levantamentos topográficos, ortofotomapas e cartas militares disponíveis.

É importante, ainda, referir que inicialmente foi feita uma visita de campo, com o objetivo de perceber o desenvolvimento topográfico da área afeta ao estudo. À visita de campo, junta-se ainda a pesquisa na ferramenta Google Earth, de forma a consolidar os conhecimentos topográficos do local.

De realçar que os levantamentos topográficos disponibilizados foram elaborados pela Câmara Municipal de Matosinhos, à escala de 1:1000, cujo ficheiro se insere no domínio dwg, isto é, faz uso da ferramenta AutoCAD.

A análise dos levantamentos topográficos foi realizada avaliando as cotas topográficas da zona, fazendo uso do programa AutoCAD, de forma a facilitar o processo de recolha das cotas. Na eventualidade de alguma dificuldade de recolha de cotas nos ficheiros disponibilizado, foram consultadas as cartas militares e Google Earth, de forma a recolher tais pontos.

Na recolha topográfica, nos casos onde a implantação das câmaras de vista não coincide com as curvas de nível, foi necessário se recorrer a uma interpolação das curvas de nível. A interpolação foi realizada unindo, no AutoCAD, dois pontos de cota conhecida e, com a medição entre o local de implantação do ponto cuja cota é pretendida e uma das curvas de nível mais próximas.

De notar, que dependendo da complexidade da zona em estudo, poderá ser necessário recorrer a uma equipa de topografia para se proceder à melhor descrição do terreno, principalmente quando acoplados à avaliação das infiltrações, usos de solo, entre outros.

6.5. DESENVOLVIMENTO DA REDE

6.5.1. COLETORES E CÂMARAS DE VISITA

O traçado da rede de drenagem de águas pluviais, tanto em planta como em alçado, deverá ser executado de forma a prevenir as perdas de energia locais, algo que se pode verificar no processo de união das condutas e alteração de inclinação, direção e secção dos coletores em causa, uma vez que estas características são propícias para a distorção do comportamento hidráulico nas tubagens. Além disso, é vantajoso que o traçado da rede seja o mais reto possível.

Os coletores têm como finalidade assegurar a condução das águas, quer residuais quer pluviais, para um destino final adequado.

No Decreto Regulamentar 23/95, Artigo n.º 133, são propostas as seguintes regras no que toca ao dimensionamento hidráulico-sanitário dos coletores:

- Velocidade máxima de escoamento para o caudal de ponta no horizonte de projeto não deve exceder os 5 m/s nos coletores de águas pluviais;
- A velocidade de escoamento para o caudal de ponta no início de exploração não deve ser inferior a 0.9 m/s para coletores de águas pluviais;
- Caso não se verifiquem os limites referidos previamente, devem ser estabelecidos declives que assegurem estes valores limites para o caudal de secção cheia, algo recorrente nos coletores de cabeceira;
- Nos coletores pluviais, a altura da lâmina líquida para a velocidade máxima deve ser igual à altura total;
- A inclinação dos coletores não deve ser, em geral, inferior a 0.3% nem superior a 15%;
- São admitidas inclinações inferiores a 0.3% desde que seja garantido o rigor do nivelamento, a estabilidade do assentamento e o poder de transporte;
- Na eventualidade de necessidade de inclinações a 15%, devem prever-se dispositivos especiais de ancoragem dos coletores.

Em termos de diâmetros é imposto para os coletores, um diâmetro mínimo de 200 mm. As redes de drenagem de águas pluviais têm a particularidade de ser possível a redução da secção para jusante, desde que se garanta a capacidade de transporte, algo que não se admite no caso das redes de águas residuais.

De forma a tornar a modelação o mais realista possível, foram adotadas tubagens em PP, da marca Politejo, da gama AMBIDUR. A Tabela 3 apresenta as dimensões características dos tubos selecionados.

Tabela 3 - Dimensões dos Tubos da Politejo AMBIDUR, adaptado de POLITEJO (2015)

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro interior (mm)
125	105.0
160	134.0
200	167.0
250	209.0
315	263.0
400	335.0
500	418.0
630	527.0
800	669.0
1000	837.0
1200	1005.0

Tendo em conta a aplicação de tubos em Poliprotileno, para o processo de cálculo hidráulico, foi utilizado um coeficiente de rugosidade de Manning (n) igual a 0.0125 em todas as tubagens do modelo, o que corresponde um coeficiente de rugosidade da fórmula de Strickler (K) igual a $80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Presente ainda no Decreto Regulamentar 23/95, estão as definições de implantação dos coletores que são:

- A implantação deve ser executada no eixo da via pública;
- De forma a minimizar os riscos de ligações indevidas de redes ou ramais, deve adotar-se a regra de implementar o coletor doméstico à direita do coletor pluvial, no sentido do escoamento;

A profundidade de assentamento dos coletores não deve ser inferior a 1 m. Assim, para a realização da rede de drenagem, foi admitida a profundidade mínima (1 m) para os coletores, valor este que se manteve constante ao longo de toda a rede. De notar, que a profundidade mínima de 1 m é medida da superfície até à geratriz superior da conduta.

Relativamente às câmaras de visita, o Decreto Regulamentar 23/95, no Capítulo V, Secção I, Artigo 155.º, refere:

- i. *É obrigatória a implantação de câmaras de visita:*
 - a. *Na confluência dos coletores;*
 - b. *Nos pontos de mudança de direção, de inclinação e de diâmetro dos coletores;*
 - c. *Nos alinhamentos retos, com afastamento máximo de 60 m e 100 m, conforme se trate, respetivamente, de coletores não visitáveis ou visitáveis.*
- ii. *Os afastamentos máximos referidos na alínea c) do número anterior podem ser aumentados em função dos meios de limpeza, no primeiro caso, e em situações excecionais, no segundo.”*
- iii. *Sabendo que, no que diz respeito às profundidades mínimas às quais se instala a rede, é recomendável que a conduta se encontre, pelo menos, a 1 metros da rasante do*

pavimento, no decorrer do dimensionamento foi considerada uma profundidade de instalação constante para todas as câmaras de visita, correspondente ao valor mínimo de 1 metro.

Essencialmente, câmaras de visita são órgãos que permitem a inspeção e limpeza da rede, podendo estas ser centradas ou descentradas em relação ao alinhamento do coletor, sendo este último aquele que permite um melhor acesso por parte do pessoal de exploração.

Na sua constituição, as câmaras de visita apresentam:

- Soleira, formada geralmente por uma laje de betão que serve de fundação às paredes;
- Corpo, formado pelas paredes, com disposição em planta normalmente retangular ou circular;
- Cobertura (plana ou tronco-cônica assimétrica), com uma geratriz vertical na continuação do corpo para facilitar o acesso;
- Dispositivos de acesso, formado por degraus encastrados ou por escada fixa ou amovível;
- Dispositivos de fecho resistente.

No Artigo n.º 159, do Decreto Regulamentar 23/95, é feita referência aos critérios de implementação a executar no caso das câmaras de visita, destacando-se:

- A inserção de um ou mais coletores noutra deve ser feita no sentido do escoamento, de forma a assegurar a tangência da veia líquida secundária à principal;
- Nas alterações de diâmetro deve haver sempre a concordância da geratriz superior interior dos coletores, de modo a garantir a continuidade da veia líquida;
- Em zonas onde o nível freático se situe, de forma contínua ou sazonal, acima da soleira da câmara de visita, deve ser garantida a estanqueidade a infiltrações nas paredes e no fundo;
- Em sistemas de águas residuais pluviais, com quedas superiores a 1 m, a soleira deve ser protegida de forma a prevenir a erosão.

Finalizado o processo de consulta da legislação atualmente em vigor, é possível proceder ao desenho da rede propriamente dita, cujo aspeto está representado na Figura 25, onde as câmaras de visita encontram-se representadas por pontos e os coletores por linhas. Está ainda representado (Figura 25), um ponto de forma triangular que representa o nó exutório e um pequeno reservatório que representa a inserção da bacia de retenção no traçado.

No decorrer da modelação no software SWMM, utiliza-se a nomenclatura T para os trechos/coletores, enquanto para as câmaras de visita utiliza-se a nomenclatura CV.

O sistema de drenagem de águas pluviais projetado é composto por 88 câmaras de visita e 86 coletores. Aquando da introdução do sistema de retenção, são adicionados mais 2 coletores, que servem de ligação entre a rede de drenagem e a bacia de retenção e a posterior descarga das águas da bacia com auxílio de um nó de exutório.

O nó exutório é utilizado de forma a definir a condição de fronteira final, sendo este colocado a jusante do sistema. No SWMM, o nó exutório é representado utilizando a nomenclatura E1.

A tubagem de ligação bacia-exutório é a única cuja profundidade é diferente das anteriores, devido às condicionantes da legislação conforme a implantação destes sistemas. Apresenta, então, uma profundidade de 2 metros. Este assunto será aprofundado mais à frente no trabalho.

A bacia de retenção é identificada no SWMM através da notação DEP1.



Figura 25 - Representação de todas as câmaras de visita, coletores, nó exutório e bacia de retenção do sistema, no SWMM

A Tabela 4 apresenta as características relativas ao comprimento, cotas a montante, cotas a jusante e inclinação dos coletores dos trechos 1 a 10. As características dos restantes coletores e, a rede na sua plenitude, podem ser observadas no Anexo A.

Tabela 4 - Identificação, comprimento, cotas inclinações dos trechos 1 a 10, do sistema de drenagem de águas pluviais

Coletor	Câmaras de visita	L (m)	Cotas a Montante (m)		Cotas a Jusante (m)		Inclinações (%)	
			Terreno	Soleira	Terreno	Soleira	Terreno	Soleira
T1	CV1 – CV2	19.00	97.60	96.35	97.45	96.20	0.79	0.79
T2	CV2 – CV3	38.00	97.45	96.20	97.15	95.84	0.79	0.96
T3	CV3 – CV4	40.00	97.15	95.84	96.76	95.45	0.98	0.98
T4	CV4 – CV5	35.00	96.76	95.45	93.72	92.41	8.69	8.69
T5	CV5 – CV6	35.00	93.72	92.41	91.74	90.43	5.66	5.66
T6	CV6 – CV7	15.00	91.74	90.43	91.00	89.69	4.93	4.93
T7	CV7 – CV8	53.00	91.00	89.69	88.26	86.95	5.17	5.17
T8	CV8 – CV9	37.00	88.26	86.95	86.50	85.19	4.76	4.76
T9	CV9 – CV10	40.00	86.50	85.19	84.60	83.20	4.75	4.96
T10	CV10 – CV11	57.00	84.60	83.20	81.73	80.23	5.04	5.21

Depois de implementada a rede de drenagem no terreno, verifica-se uma extensão total da rede de 2917.00 metros, sem incluir as tubagens de ligação rede-bacia e bacia-exutório. Ambas as tubagens de ligação rede-bacia e bacia-exutório têm comprimento de 20.00 metros cada, o que totaliza, no global, 2957.00 metros de extensão de coletores.

Já em termos de inclinação, contabiliza-se uma inclinação média de terreno de 3.40% e dos coletores de 3.53%.

6.5.2. ÁREAS A DRENAR E SUB-BACIAS

O dimensionamento dos sistemas de drenagem de águas pluviais não pode ser realizado sem calcular o escoamento proveniente das águas das chuvas. Esse caudal, portanto, dependerá das características das sub-bacias que drenam para o sistema de águas pluviais.

Nesta fase, procedeu-se à divisão da zona em sub-bacias, de forma a tentar restringir cada habitação a uma sub-bacia diferente, embora nem sempre fosse possível, principalmente no caso de habitações geminadas. A via pública também foi introduzida nas sub-bacias, de forma a simular as condições existentes na via pública. Esta subdivisão foi realizada de forma a introduzir diferentes coeficientes de escoamento, dependendo do tipo de estrutura.

As sub-bacias referentes ao sistema de drenagem foram dimensionadas de acordo com as zonas afetas aos coletores, cuja drenagem interessa para o funcionamento do sistema. Entre as considerações impostas, destaca-se o ponto de separação entre a área a drenar para o lado esquerdo e lado direito dos coletores. Considerou-se como ponto de separação o eixo médio da via pública, sendo os lados direito e esquerdo identificados a partir do sentido de escoamento da rede.

A cada uma das sub-bacias foi atribuída uma área (medida no programa AutoCAD), um coeficiente de escoamento, uma inclinação e o respetivo nó exutório para o qual a água proveniente da chuva escoava. Infelizmente, o programa SWMM não simula sarjetas ou sumidouros, pelo que não é possível introduzir caudais diretamente nas condutas. Assim, os escoamentos de cada sub-bacia foram atribuídos à câmara de visita a jusante da bacia mais próxima.

A área a drenar por cada uma das sub-bacias, correspondentes aos trechos 1 a 10, podem ser observadas na Tabela 5. Mais uma vez, as características das restantes sub-bacias podem ser observadas no Anexo A.

Tabela 5 - Áreas relativas às sub-bacias da rede de drenagem, afetas aos coletores 1 a 10

Coletor	Área a drenar de cada sub-bacia (m ²)		Área a drenar de cada sub-bacia (ha)	
	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
T1	829.4	153.2	0.083	0.015
T2	202.9	742.8	0.020	0.074
T3	1062.7	1068.2	0.106	0.107
T4	95.9	149.5	0.010	0.015
T5	149.7	1153.1	0.015	0.115
T6	58.9	1933.9	0.006	0.193
T7	148.7	284.3	0.015	0.028
T8	396.6	1993.9	0.040	0.199
T9	1331.2	1122.3	0.133	0.112
T10	1096.8	1538.8	0.110	0.154

No que se refere aos coeficientes de escoamento, estes foram analisados e posteriormente aplicados consoante os usos do solo da zona de estudo. A Tabela 6 apresenta os valores médios dos coeficientes de escoamento a aplicar nas sub-bacias, sendo estes valores provenientes recolhidos da tabela.

Tabela 6 - Coeficientes de Escoamento utilizados no modelo

Coeficientes de Escoamento	
Pavimento Betuminoso	0.800
Habitacões + Via Pública	0.750
Habitacões Unifamiliares	0.400

Uma vez que as sub-bacias quase na sua totalidade englobam tanto habitacões como partes da via pública, surge a utilização de um coeficiente de 0.750 nessas situaões. Devido à predominância de zonas de pavimento betuminoso, assim como dos telhados das habitacões, decidiu-se optar por um coeficiente de escoamento que traduzisse maioritariamente ambas essas características.

Na Tabela 7, são apresentados os coeficientes de escoamento, consoante a ocupação do solo (Maia, 2020).

Tabela 7 - Coeficientes de Escoamento, consoante a ocupação do solo (Adaptado de Maia, 2020)

Tipo de ocupação	Coeficiente ϵ
Zonas verdes	
relvados em solos arenosos	0,05 — 0,20
relvados em solos pesados	0,15 — 0,35
parques e cemitérios	0,10 — 0,25
campos desportivos	0,20 — 0,35
Zonas comerciais	
centro da cidade	0,70 — 0,95
periferia	0,50 — 0,70
Zonas residenciais	
vivendas no centro da cidade	0,30 — 0,50
vivendas na periferia	0,25 — 0,40
prédios de apartamentos	0,50 — 0,70
Zonas industriais	
indústria dispersa	0,50 — 0,80
indústria concentrada	0,60 — 0,90
Vias férreas	0,20 — 0,40
Ruas e estradas	
asfaltadas	0,70 — 0,95
de betão	0,80 — 0,95
de tijolo	0,70 — 0,85
Passeios	0,75 — 0,85
Telhados	0,75 — 0,95
Baldios	0,10 — 0,30

Para o dimensionamento das redes de drenagem de águas pluviais é necessário calcular os caudais pluviais, ou seja, calcular a parcela proveniente da precipitação que se transforma em escoamento. O caudal a drenar depende então da intensidade de precipitação e das características da bacia de drenagem.

A Figura 26, apresenta parte das sub-bacias, presentes no sistema de drenagem de águas pluviais, modelado no SWMM.



Figura 26 - Representação de parte das sub-bacias, no SWMM

6.5.3. HIDROLOGIA

De forma a definir a intensidade e a duração da chuvada a simular, recorreu-se ao método racional, referido no anterior Capítulo, utilizando um tempo de retorno de 10 anos, visto que é um valor usual para o processo de dimensionamento de uma rede de águas pluviais.

A freguesia de São Mamede de Infesta situa-se na região pluviométrica A. Assim, pela análise da Tabela 1, resultam os valores dos parâmetros a e b de 290.680 e -0.549, respetivamente.

Considerando o comprimento da rede e o perfil topográfico da zona de estudo, considerou-se um tempo de precipitação de 10 minutos, o que pela aplicação da equação (5) resulta numa intensidade de precipitação de 82.114 mm/h.

6.6. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO CÁLCULO HIDRÁULICO

Depois de referidos no Capítulo 6 os processos de cálculo hidráulico aplicados no decorrer da modelação, os resultados serão, agora, apresentados.

Os cálculos dos caudais de ponta baseiam-se na aplicação da Fórmula de Manning-Strickler, para aplicação em superfície livre e em condutas circulares.

O dimensionamento hidráulico dos coletores considerou, apenas, o caudal de dimensionamento relativo à água da chuva, que corresponde ao período de retorno adotado.

De realçar que a precipitação tem uma elevada variabilidade espacial e temporal. Já as bacias de drenagem das áreas urbanas apresentam características diferentes, nomeadamente em termos de impermeabilidade das superfícies e suas dimensões.

6.6.1. Caudais de Ponta e Caudais de Secção Cheia

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos nos processos de cálculo hidráulico utilizados, relativamente aos coletores 1 a 10. Para se observar os resultados relativos às restantes tubagens, recomenda-se a análise do Anexo A (Quadro 1).

Tabela 8 - Caudais obtidos, para os coletores 1 a 10

Coletor	Caudal		Diâmetro (mm)			Q ₀ (m³/s)	U (m/s)
	m³/s	l/s	Cálculo	Nominal	Interno		
T1	0.017	16.8	208	250	209	0.034	0.87
T2	0.016	16.2	205	250	209	0.034	0.86
T3	0.036	36.5	267	315	263	0.070	1.15
T4	0.004	4.2	79	315	263	0.209	1.59
T5	0.024	23.8	164	315	263	0.168	1.10
T6	0.036	36.4	197	315	263	0.157	1.19
T7	0.008	7.9	110	315	263	0.161	0.76
T8	0.038	38.2	202	315	263	0.154	1.19
T9	0.042	42.0	209	315	263	0.154	1.22
T10	0.045	45.1	213	315	263	0.303	1.50

Analisando a Tabela 8, facilmente se identifica alguma discrepância entre os valores de diâmetro de cálculo e os diâmetros comerciais aplicados na rede. Isto deveu-se, ao mau funcionamento apresentado pela rede nos trechos onde esta disparidade de valores se verifica. A rede de drenagem de águas pluviais encontrava-se em carga, em quase todo o território de estudo, maioritariamente em zonas onde a inclinação do terreno não é acentuada.

6.6.2. Autolimpeza das condutas

Devido ao já referido acima, alguns coletores entraram em carga aquando da aplicação dos diâmetros comerciais diretamente acima dos valores obtidos para os diâmetros de cálculo.

Maioritariamente, a rede não apresenta problemas de autolimpeza após a inserção de diâmetros maiores, pois a velocidades respeitam o critério dos 0.9 m/s de velocidade mínima e os 5 m/s de velocidade máxima. Porém, nem sempre essa situação se verifica.

Nas condutas das zonas cuja inclinação não é muito acentuada, ocorrem problemas de autolimpeza das condutas, como é o caso das condutas T44 e T45, existentes na rua Henrique Bravo, possíveis de identificar na Figura 27.

Em casos semelhantes a este, recomenda-se a limpeza periódica destes e outros coletores em condições semelhantes recorrendo a métodos de lavagem das condutas, através da inserção de jatos de água nas câmaras de visita a montante do coletor em causa. Recomenda-se a limpeza periódica de forma que não se originem transtornos, quer para os habitantes, quer para o funcionamento da rede no geral.



Figura 27 - Identificação das condutas T44 e T45, com problemas de Autolimpeza, no SWMM

6.7. DIMENSIONAMENTO DAS BACIAS DE RETENÇÃO

O dimensionamento hidráulico de uma Bacia de Retenção consiste, fundamentalmente, na definição do volume necessário para regular o caudal afluente, de modo que o caudal máximo efluente não ultrapasse, para um determinado período de retorno, um limite preestabelecido.

A esse volume irá corresponder uma determinada área inundada e uma determinada carga hidráulica na bacia, características estas determinadas no processo de dimensionamento da bacia propriamente dita.

A dificuldade do problema, advém da precisão necessária que o processo de cálculo terá ou não.

O dimensionamento da bacia de retenção terá por base a aplicação de um método iterativo de cálculo que garanta que não ocorre extravasamento na bacia de retenção.

O método simplificado, também designado por método holandês, é um método expedito recomendado numa fase de estudo prévio dos projetos. Porém, em fase de projeto de execução, deve ser validado por um modelo numérico (Gaspar, 2013).

Daqui em diante, quando é feita referência ao “método holandês”, este irá ser designado por método neerlandês, de forma a tomar em conta a nova designação que os Países Baixos tomaram quanto à designação oficial do seu nome pátrio.

6.7.1. SITUAÇÃO ORIGINAL (PRÉ-URBANIZAÇÃO)

De forma a realizar o cálculo relativo à situação de pré-urbanização, é necessário avaliar as áreas a drenar anteriormente referidas e o coeficiente de escoamento do terreno antes de existir a urbanização do território.

Assim, analisando as áreas anteriormente mencionadas (Tabela 5 e Anexo A), o somatório de todas essas áreas perfaz 76768.81 m².

Relativamente ao coeficiente de escoamento, antes da existência de qualquer tipo de urbanização, é usual admitir como valor para este coeficiente, 0.4 (Maia, 2020).

Portanto, vai ser utilizado um coeficiente de escoamento de 0.4, no que diz respeito às condições de pré-urbanização.

Depois de conhecidos os somatórios das áreas a drenar e o coeficiente de escoamento respetivo, é necessário avaliar o tempo de concentração a utilizar.

Tendo em conta que o dimensionamento da bacia de retenção será realizado para um período de retorno de 10 anos e de forma a dar seguimento aos trabalhos já realizados na FEUP, principalmente o realizado por Pareja-Obregón (2021), o tempo de concentração, para a situação de pré-urbanização, a aplicar será de 20 minutos.

Desta forma, através da aplicação da expressão referida em (5), para um tempo de concentração de 20 minutos, um coeficiente de escoamento de 0.4 e, utilizando os valores dos coeficientes a e b, para um período de retorno de 10 anos, apresentados na Tabela 1 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, sendo eles 290.680 e -0.549, respetivamente, chega-se a um valor para a intensidade de precipitação de 56.124 mm/h.

Calculada a intensidade de precipitação, é necessário proceder à avaliação do caudal de cheia, referente à situação de pré-urbanização. Para tal, foi utilizada a equação (6), correspondente ao método racional. Desta forma, foi possível obter para o caudal de cheia de pré-urbanização 478.7 l/s.

Finalmente, avalia-se o tempo de crítico correspondente a esse mesmo caudal, utilizando a seguinte expressão:

$$t_{cr} = \left(\frac{3600q}{CA a (1 + a)} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (14)$$

Sendo,

t_{cr} – Tempo crítico (minutos);

q – Caudal de cheia efluente pré-urbanização (l/s);

C – Coeficiente de escoamento (-);

A – Área a drenar (m²);

a e b – Parâmetros das regiões pluviométricas de Portugal, provenientes das curvas IDF.

A aplicação da expressão acima referido foi realizada com os valores de a e b já recorrentes, 290.680 e -0.549, respetivamente, e o somatório de $C \cdot A$ correspondente a 57189.3. O valor do caudal de cheia efluente será o caudal de cheia correspondente à pré-urbanização, visto que desta forma se está a proceder à limitação do mesmo. Assim, procede-se a uma tentativa de procurar o volume ideal para a bacia de retenção, de forma que o caudal a jusante não exceda o caudal máximo natural.

Portanto, obteve-se um tempo crítico de 14.6 minutos, para a situação em estudo.

6.7.2. SITUAÇÃO FUTURA (PÓS-URBANIZAÇÃO)

Atendendo às condições de pós-urbanização, estamos perante um caudal de ponta de cheia diferente do verificado na condição anterior.

Assim, é necessário proceder ao cálculo deste novo caudal. Visto que a nova situação diz respeito ao caso de pós-urbanização, a intensidade de precipitação é a mesma que a utilizada aquando do dimensionamento dos coletores do sistema, ou seja, 82.114 mm/h, sendo o tempo de concentração 10 minutos, para um tempo de retorno de 10 anos.

Recorrendo à equação (4), procedeu-se ao cálculo dos caudais de dimensionamento da rede. Após a realização do cálculo, efetuou-se o cálculo do somatório dos caudais de ponta, obtendo-se um caudal futuro de 1304.4 l/s para a rede de drenagem de águas pluviais, correspondendo este valor a 78.3 m³/min.

A regulação dos caudais requer a existência de um dispositivo de descarga dos caudais, neste caso um descarregador, e o cálculo dos volumes de retenção são executados de acordo com a seguinte expressão:

$$V_{br} = \frac{-b}{1+b} q t_{cr} \quad (15)$$

Onde,

V_{br} – Volume de retenção (m³);

q – Caudal de cheia efluente pós-urbanização (m³/min);

b – Parâmetro relativo às regiões pluviométricas de Portugal, relacionado com as curvas IDF;

t_{cr} – Tempo crítico (minutos).

Portanto, aplicando a expressão acima com as variáveis correspondentes, q com o valor de 78.3 m³/min, b de -0.549 e o tempo crítico de 14.6 minutos, obtém-se um volume de retenção de 1386.8 m³, valor este que será utilizado no modelo realizado, relativamente ao dimensionamento da bacia pelo método neerlandês.

(Página propositadamente deixada em branco)

7

CASO DE ESTUDO – MODELAÇÃO NO STORM WATER MANAGEMENT MODEL

7.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo modelar a rede de drenagem de águas pluviais, já explicitada anteriormente, no programa SWMM – Storm Water Management Model, da US EPA.

O principal objetivo deste trabalho de modelação é demonstrar que é possível proceder à introdução de um órgão como as bacias de retenção, de forma a realizar o controlo dos caudais de tempestade em redes de drenagem com o intuito de evitar as cheias, além de com a introdução dos sistemas SUDS, atenuar os caudais de ponta de cheia, de forma que estes se assemelhem às situações em que não existia contribuição negativa da urbanização no sistema de drenagem de águas pluviais. Para tal, foram realizados dois tipos de modelos: um “estático” e um “dinâmico”.

No modelo estático, foi avaliada apenas a contribuição dos caudais calculados anteriormente no sistema de drenagem, constituindo, assim, uma análise para tempo seco.

No modelo dinâmico, não são inseridos os caudais nas câmaras de visita, dependendo o sistema apenas da chuvada característica e da qual será o funcionamento da bacia de retenção tendo em conta um específico evento de precipitação.

Foi ainda executada uma simulação mista, ou seja, misturando a contribuição dos caudais previamente calculados e da chuvada característica, de forma a perceber o funcionamento do sistema na sua plenitude.

A Figura 2 é uma boa representação naquilo que se pretende com a realização da modelação.

7.2. CONSTRUÇÃO DO MODELO

A Figura 28 ilustra o mapa da área de estudo no SWMM, após a implementação no terreno da rede de drenagem, isto é, dos coletores, câmaras de visita, sub-bacias e o pluviómetro. Esta é a situação de partida para o desenvolvimento do modelo.

Como se pode observar na mesma figura, no ambiente de trabalho do SWMM foi inserida uma imagem georreferenciada, proveniente do Google Earth, como imagem de fundo, de onde se procedeu à introdução de todos os parâmetros necessários para a construção do modelo.

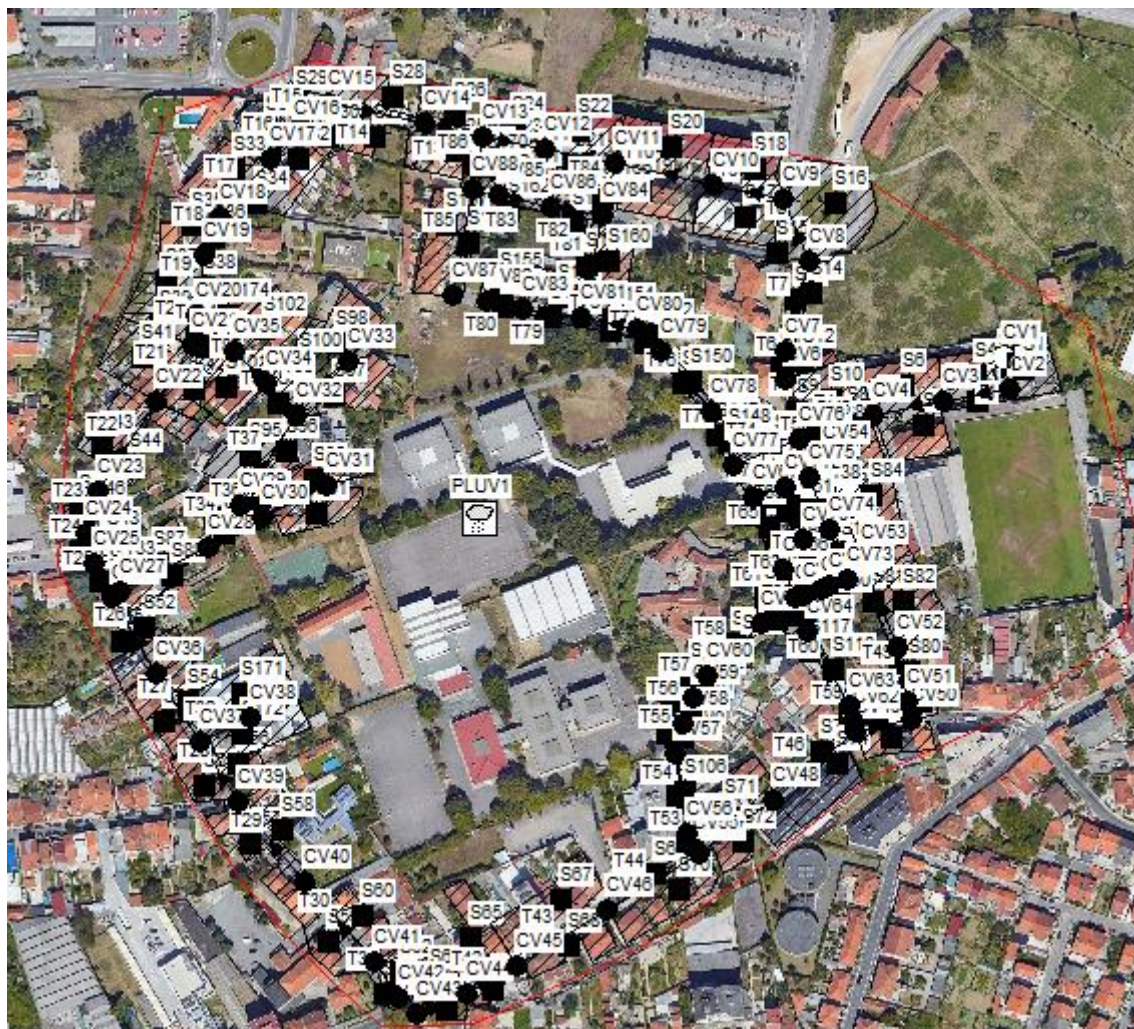


Figura 28 - Construção do modelo hidráulico no SWMM

7.2.1. NÓS DE CONEXÃO

No SWMM, os nós de conexão ou *junction nodes* são objetos do sistema de drenagem que possibilitam a ligação de diferentes partes do mesmo entre si. Fisicamente, estes nós podem representar a confluência de canais superficiais naturais, câmaras de visita do sistema de drenagem ou outros elementos de conexão de condutas (Rossman, 2010).

Os nós de conexão, neste modelo em particular, representam as câmaras de visita da rede de drenagem.

No SWMM, em cada um dos nós, foram preenchidas as seguintes propriedades dos mesmos:

- Código de identificação específico a cada uma das câmaras de visita;
- Ponto de coordenadas do nó – longitudinal e latitude (X e Y);
- Afluência nos nós de montante dos coletores (no caso do modelo estático), em litros por segundo;
- Cota do *radier*, ou seja, a cota da soleira da câmara de visita representada pelo nó, em metros;
- Profundidade máxima da soleira da câmara de visita em relação à cota da tampa.

Como forma de identificar as câmaras de visita no SWMM, utilizou-se a nomenclatura CV, seguida do respetivo número de identificação, como forma de distinguir cada uma das câmaras existentes na rede de drenagem.

A Figura 29 apresenta a janela de *input* de dados relativos às câmaras de visita. Foi exemplificada a CV42, pois trata-se do ponto de partida da rede, do lado oeste da zona de estudo.

Propriedades	Valor
Identificador	CV42
X-Coordinate	532868.498
Y-Coordinate	4560358.629
Descrição	
Etiqueta	
Afluência	NO
Tratamento	NO
Cota do radier	101.68
Profundidade Max.	1.2
Profundidade Inicial	0
Profundidade de Sobrecarga	0
Área alagada	0
Identificador da conexão escolhida pelo usuário.	

Figura 29 - Janela de input de dados referentes à CV42, no SWMM

Na Figura 30, está representada a câmara de visita, CV41, com a janela de *input*, referente à introdução da afluência externa na câmara de visita visível, de forma a demonstrar como foi realizada a introdução dos caudais no SWMM.

Nó CV41

Propriedades	Valor
Identificador	CV41
X-Coordinate	532855.685
Y-Coordinate	4560378.922
Descrição	
Etiqueta	
Afluência	YES
Tratamento	NO
Cota do radier	101.25
Profundidade Max.	1.25
Profundidade Inicial	0
Profundidade de Sobrecarga	0
Área alagada	0

Atribuir afluência externa direta

Afluentes por nó CV41

Direto | Tempo Seco | RDII

Elemento: FLOW

Valor Base: 8.6

Padrão do Valor Base: [dropdown]

Série Temporal: [dropdown]

Fator de Escala: 1.0

afluente = (Valor Base) x (Padrão do Valor Base) + (Valor da Série Temporal) x (Fator de Escala)

Se Valor Base ou Série Temporal for deixado em branco seu valor será 0. Se o padrão do Valor Base for deixado em branco seu valor será 1.0.

OK Cancelar Ajuda

Figura 30 - Janela de input de informações relativas às afluências nas câmaras de visita, no SWMM

Importa realçar, que todos os valores referentes às afluências resultam do cálculo hidráulico realizado anteriormente no trabalho. Na Tabela 8 estão presentes algumas das afluências introduzidas nas câmaras de visita, porém apenas constituem uma pequena porção. A observação das restantes afluências pode ser efetuada no Anexo A (Quadro 1).

7.2.2. COLETORES

Os coletores ou *conduit links* são tubagens ou canais que transportam o escoamento de um nó para o seguinte. As respetivas secções transversais podem ser definidas a partir de diversas geometrias, abertas ou fechadas (Rossman, 2010).

No modelo desenvolvido, são utilizadas tubagens em secção transversal fechada e circular.

Os parâmetros de entrada introduzidos são os seguintes:

- Código de identificação, específico a cada um dos coletores;
- Identificação dos nós de entrada e saída;
- Geometria da secção transversal;
- Profundidade máxima do escoamento, o que neste caso, corresponde ao diâmetro interior da tubagem, em metros;

- Comprimento do coletor, em metros;
- Coeficiente de rugosidade de Manning (n). Foi utilizado o valor de $0.0125 \text{ s/m}^{1/3}$ em todas as tubagens do sistema;
- *Offsets* de entrada ou saída dos coletores, quando necessário, isto é, os desníveis de colocação dos coletores, de forma que não se verifiquem variações do nível da água na conduta.

Nos coletores, a sua identificação no SWMM faz uso da nomenclatura T, seguida do respetivo número de identificação.

Na Figura 31, estão identificadas as janelas de *input* dos dados, referente ao coletor T9, no programa SWMM.

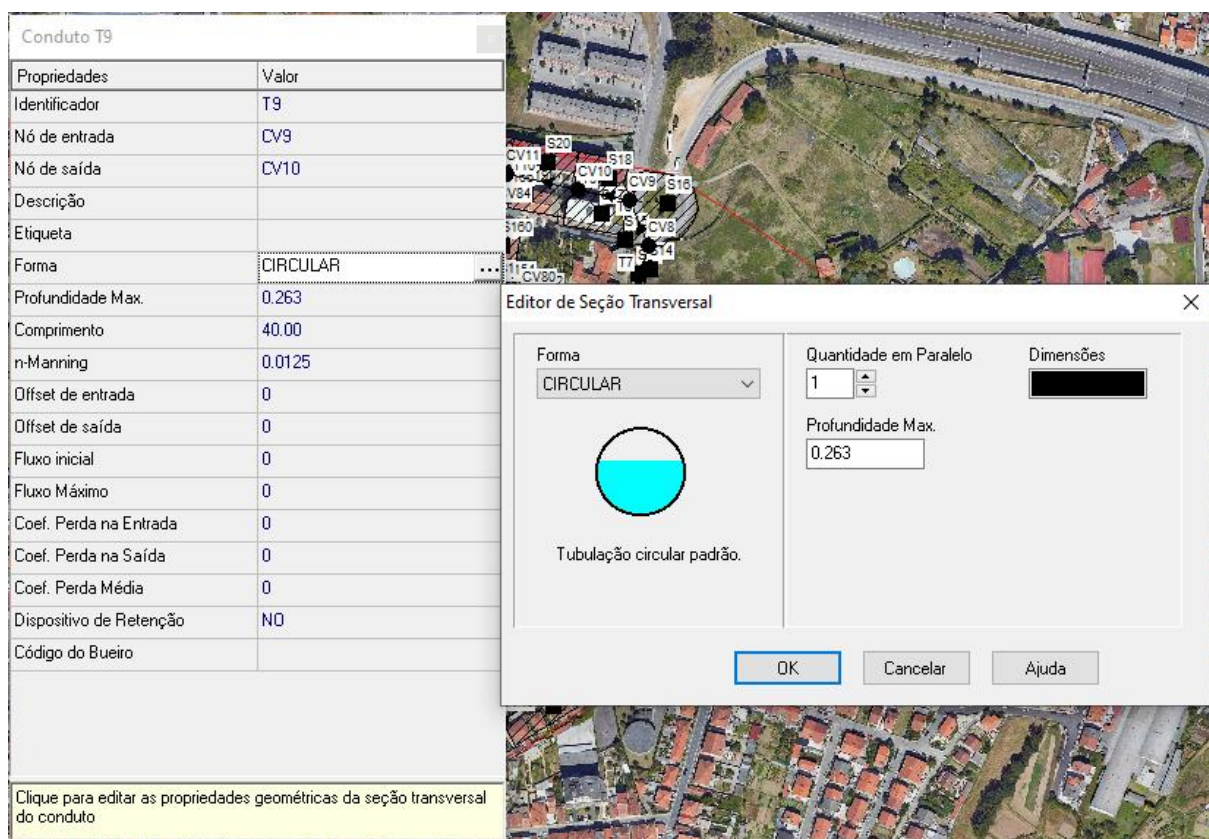


Figura 31 - Janela de input de dados, referente ao coletor T9, no SWMM

7.2.3. NÓ EXUTÓRIO

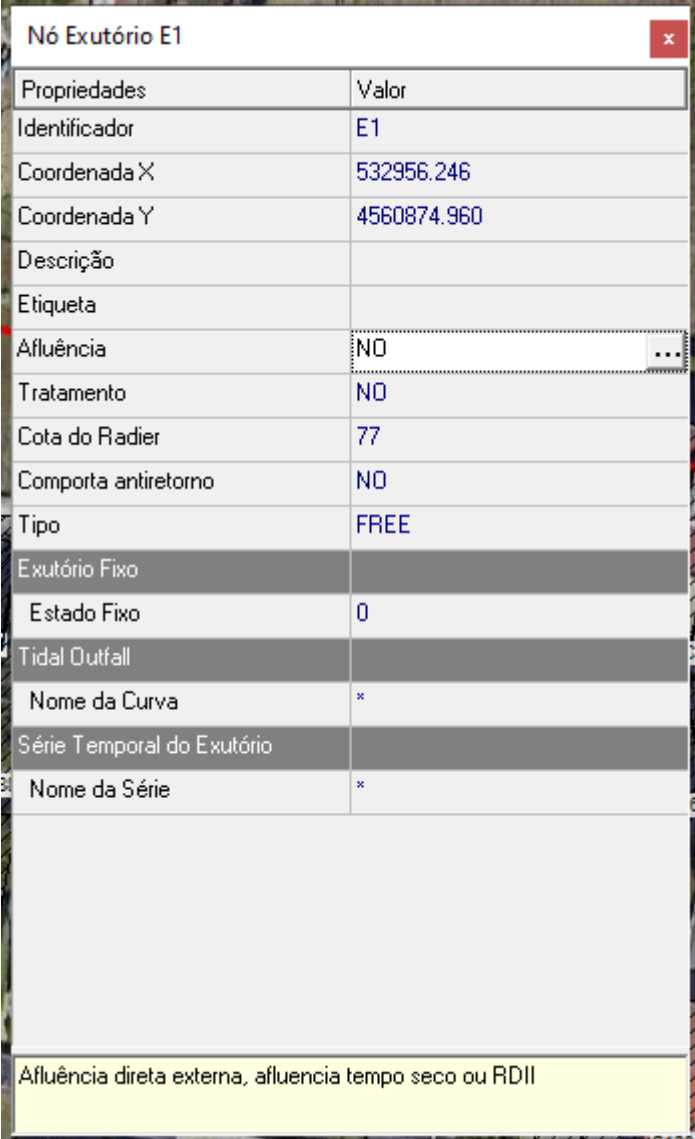
Os nós exutórios ou *outfall nodes* são nós terminais do sistema de drenagem, utilizados para definir as condições fronteira finais, a jusante do sistema (Rossman, 2010).

No modelo dinâmico, foi incluído um nó exutório a jusante da bacia de retenção. As propriedades introduzidas no nó exutório foram as seguintes:

- Código de identificação do exutório;
- Ponto de coordenadas do exutório – longitudinal e latitude (X e Y);
- Cota do *radier*, em metros.

No SWMM, foi utilizado o código E1, para identificar o nó exutório existente.

A Figura 32 demonstra a janela de *input* dos dados referentes ao nó exutório E1.



Propriedades	Valor
Identificador	E1
Coordenada X	532956.246
Coordenada Y	4560874.960
Descrição	
Etiqueta	
Afluência	NO
Tratamento	NO
Cota do Radier	77
Comporta antiretorno	NO
Tipo	FREE
Exutório Fixo	
Estado Fixo	0
Tidal Outfall	
Nome da Curva	*
Série Temporal do Exutório	
Nome da Série	*
Afluência direta externa, afluência tempo seco ou RDII	

Figura 32 - Janela de input de informação do nó exutório E1, no SWMM

7.2.4. SUB-BACIAS

No SWMM, as sub-bacias ou *subcatchments* são unidades hidrológicas de terreno cuja topografia e elementos do sistema de drenagem conduzem o escoamento pluvial diretamente para um único ponto de descarga (um exutório). Os pontos de saída de cada uma das sub-bacias podem ser nós do sistema de drenagem ou entradas de outras sub-bacias (Rossman, 2010).

As sub-bacias constituem uma das ferramentas do software com maior sensibilidade e variabilidade de opções de modelação e simulação, pelo que apresentam uma maior margem de calibração (Baptista, 2021).

Neste modelo em concreto, foi utilizada como largura do escoamento superficial da sub-bacia um valor correspondente à raiz quadrada da área da sub-bacia respetiva.

Baptista (2021), constatou que a aproximação com o valor da raiz quadrada da área não reflete diferença significativa daquilo que seria a real medida para a largura de escoamento superficial. Em suma, a contribuição do valor da largura característica para a definição da sub-bacia e a relevância que este parâmetro vem a ter no hidrograma de cheia não é crítica. Este princípio foi selecionado de forma a dar seguimento aos trabalhos já executados na FEUP.

Relativamente à percentagem de área impermeável de cada sub-bacia, procurou-se realizar uma análise de acordo com o tipo de ocupação do terreno, considerando os pavimentos, telhados e zonas verdes como fontes de incerteza no coeficiente a usar. Em geral, pode-se afirmar que a percentagem de área impermeável introduzida está relacionada com os coeficientes de escoamento aplicados a cada uma das áreas, pelo que as percentagens consideradas rondam os 80, 75 e 40%, valores estes provenientes, então, dos coeficientes de escoamento. A Tabela 6 menciona, precisamente, estes coeficientes.

Logicamente, este parâmetro deve ser verificado e calibrado de forma mais extensiva, de modo a se obterem resultados mais fidedignos com a realidade.

Os parâmetros introduzidos em cada uma das sub-bacias foram os seguintes:

- Código de identificação, específico de cada sub-bacia;
- O pluviómetro associado;
- Ponto exutório da sub-bacia (neste caso coincide com a câmara de visita a jusante de cada sub-bacia);
- Área, em hectares;
- Percentagem da área impermeável.

As sub-bacias, no SWMM, são identificadas pelo código S, seguido do respetivo número de identificação.

A Figura 33, explicita a janela de *input* dos dados referentes à sub-bacia S67.

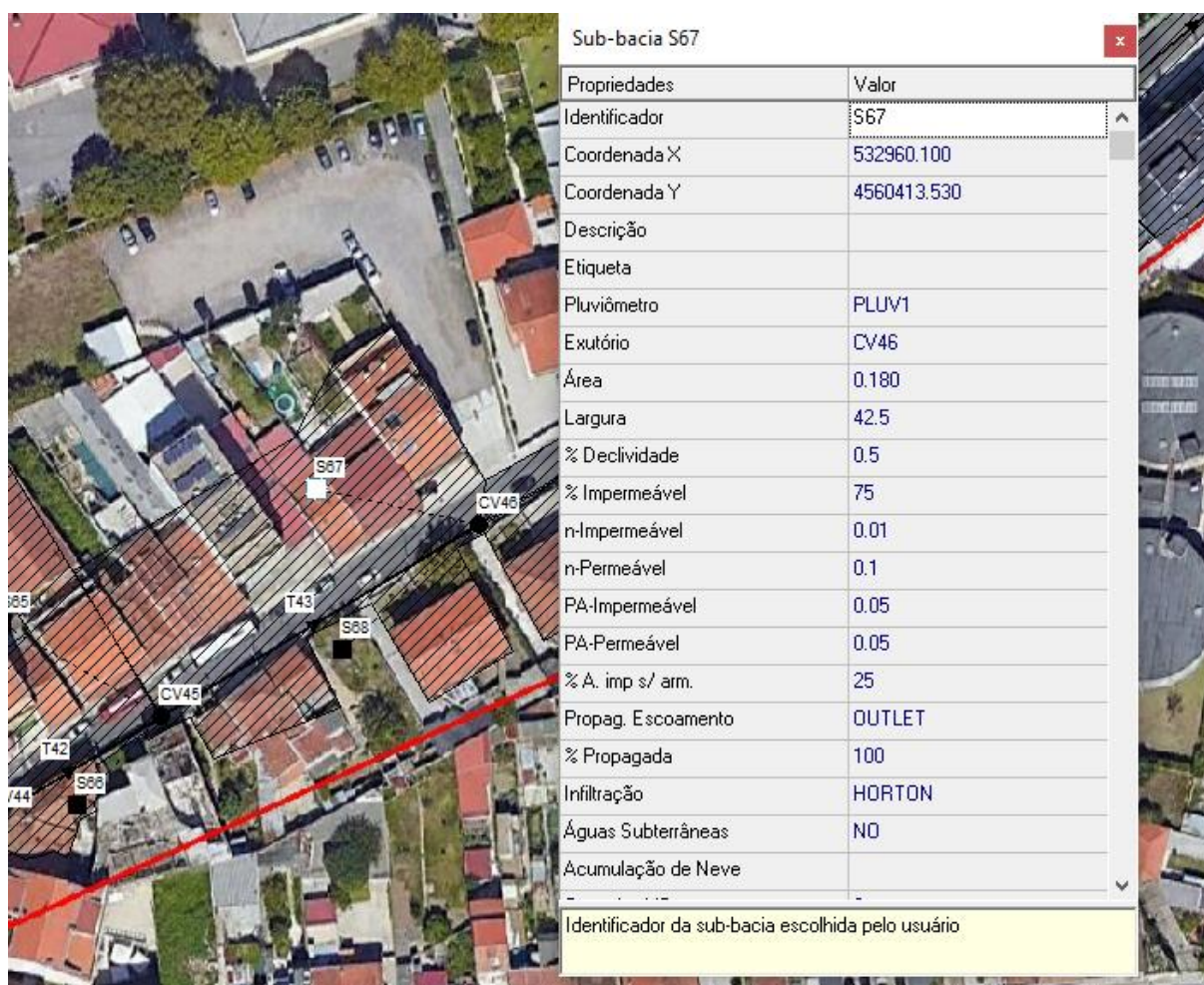


Figura 33 - Janela de *input* dos dados referentes à sub-bacia S67, no SWMM

7.2.5. PLUVIÓMETRO

Os pluviómetros ou *rain gages* permitem inserir dados de entrada das precipitações que ocorrem sobre uma ou mais áreas das sub-bacias definidas na região de estudo. (Rossman, 2010)

Para desenvolver o modelo, foi necessário proceder à recolha dos dados relativos a uma chuvada, com ênfase para o estudo.

Assim, através da consulta da plataforma digital do SNIRH, onde é possível verificar os registos de pluviosidade, procedeu-se à recolha da chuvada mais intensa, durante o ano hidrológico de 2020/2021, sendo esse dia: 25 de setembro de 2021.

Visto que não existe nenhuma estação meteorológica em São Mamede de Infesta, surgiu a dúvida de qual das estações meteorológicas utilizar, em particular as estações de Leça da Palmeira e de Ermesinde.

Apesar da estação de Leça da Palmeira se situar no mesmo concelho de São Mamede de Infesta (Matosinhos), a estação de Ermesinde é mais próxima do centro da zona de estudo (cerca de 8 km), enquanto a de Leça da Palmeira situa-se a cerca de 11 km.

A recolha da precipitação máxima horária foi, como já mencionado, realizado na página do SNIRH. Analisando respetivo relatório correspondente à precipitação horária para o período de 1/10/2020 a

30/09/2021, facilmente se percebeu que o dia cuja chuvada fora mais intensa correspondia ao 25 de setembro de 2021. A Tabela 9, apresenta os dados de precipitação da estação meteorológica de Ermesinde, para o somatório das alturas de precipitação para o mês de setembro de 2021, no ano hidrológico de 2020/2021.

Pela análise da Tabela 9, verifica-se, para o dia 25/09/2021, uma altura de precipitação diária de 64.4 mm.

Tabela 9 - Somatório das alturas de precipitação, na estação meteorológica de Ermesinde, para o mês de setembro de 2021, do ano hidrológico 2020/2021, adaptado de SNIRH

Setembro (dia)	Soma das Alturas de Precipitação (mm)
1	1.0
2	0.0
3	0.0
4	0.0
5	0.0
6	2.0
7	6.3
8	5.4
9	4.4
10	1.9
11	0.0
12	0.0
13	7.6
14	46.6
15	0.4
16	0.0
17	1.1
18	0.1
19	0.0
20	0.0
21	0.0
22	0.0
23	5.5
24	0.0
25	64.4
26	0.0
27	1.6
28	s.d.
29	s.d.
30	s.d.

Pela análise da Tabela 9, identifica-se o dia de 25 de setembro, como sendo aquele cuja altura de precipitação foi a mais elevada, uma vez que durante as 24 horas desse dia verifica-se uma soma de alturas de precipitação de 64.4 mm. Desta forma, este foi o dia mais chuvoso de todo o ano hidrológico de 2020/2021.

O Anexo B, apresenta todos os dados de precipitação da estação meteorológica de Ermesinde para o ano hidrológico de 2020/2021.

Depois de recolhida a chuvada de interesse para a modelação, é necessário aplicá-la no SWMM. Para isso, define-se uma série temporal, ou série cronológica, com os valores recolhidos, tal como a Figura 34 demonstra, considerando os valores referentes ao dia 25 de setembro de 2021.

A série temporal no SWMM foi denominada de ST1.

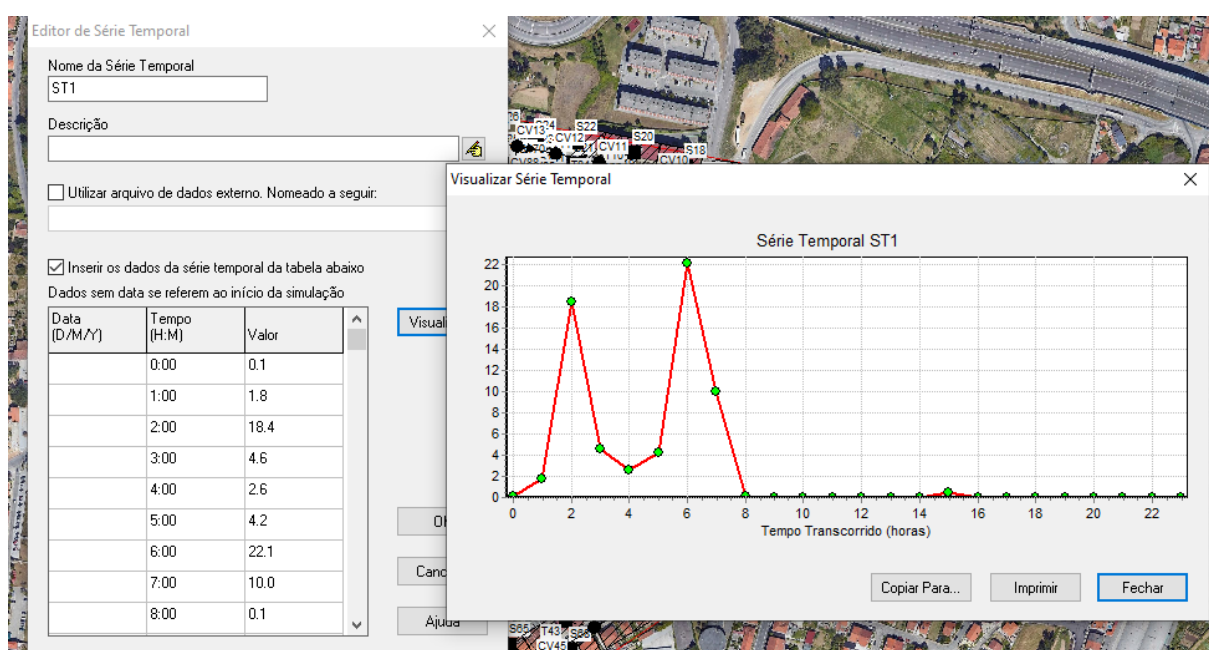


Figura 34 - Introdução da série temporal de dados e visualização do registo de precipitação horária em mm do dia 25 de setembro de 2021

Já o *input* verificado no pluviómetro é o seguinte, e está exposto na Figura 35:

- Código de identificação do pluviómetro;
- Ponto de coordenadas – longitudinal e latitude (X e Y);
- Formato de precipitação, neste caso intensidade;
- Intervalo de tempo dos dados, neste caso foram considerados intervalos de uma hora para um hietograma de 24 horas;
- Origem dos dados, neste caso a série temporal ST1.

Pluviômetro PLUV1

Propriedades	Valor
Identificador	PLUV1
Coordenada X	532916.226
Coordenada Y	4560625.970
Descrição	
Etiqueta	
Formato de Precipitação	INTENSITY
Intervalo de Precipitação	1:00
Fator Neve	1.0
Origem de Dados	TIMESERIES
SÉRIE TEMPORAL:	
- Nome	ST1
ARQUIVO:	
- Nome	*
- Nº Estação	*
- Unidade de Precipitação	IN
Identificador do pluviômetro escolhido pelo usuário	

Figura 35 - Janela de *input* dos dados, referentes ao pluviômetro PLUV1, no SWMM

No SWMM, a nomenclatura dada ao pluviômetro fora PLUV1.

7.3. SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

Concluída a modelação hidráulica, observe-se o perfil longitudinal da situação de referência em diversos troços da rede, como apresentam a Figura 36 e Figura 37.

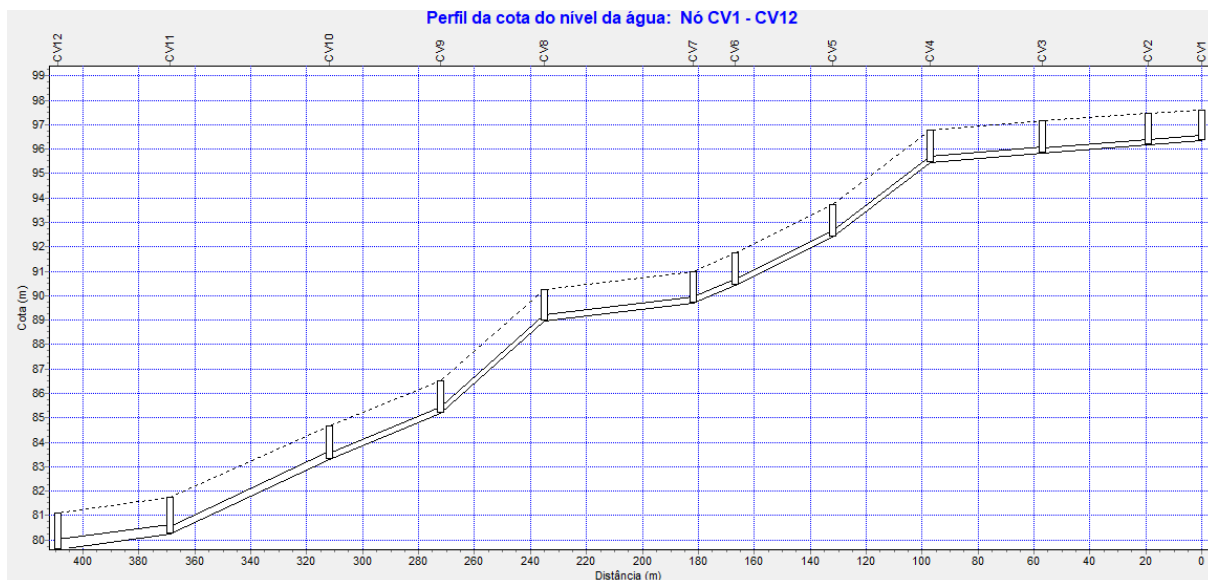


Figura 36 - Perfil longitudinal da situação de referência, ao longo dos coletores T1 a T11, no SWMM

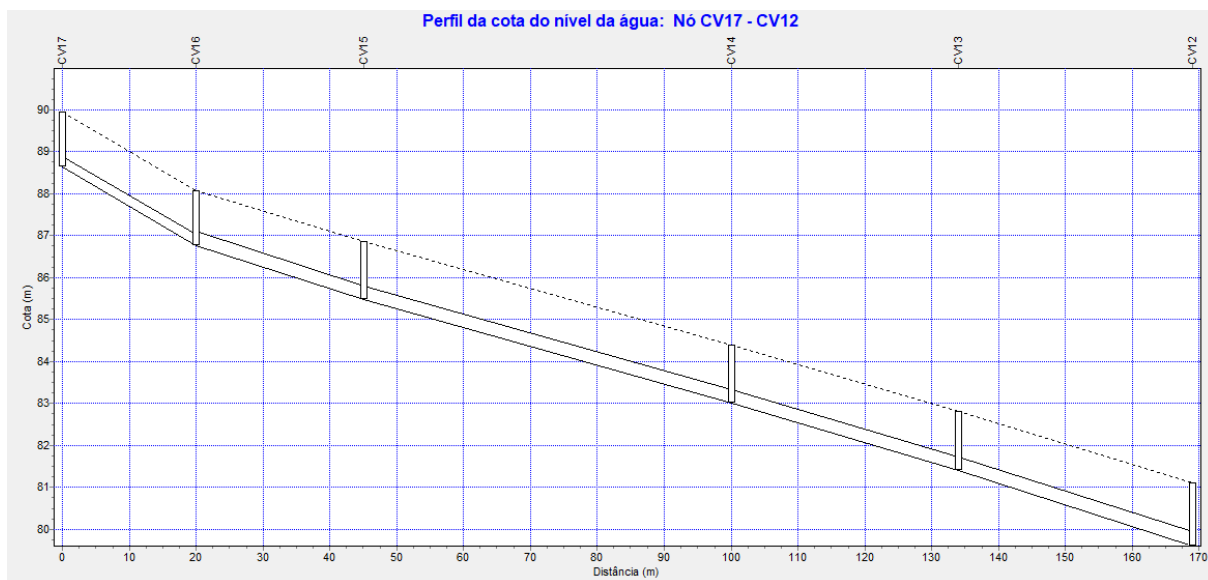


Figura 37 - Perfil longitudinal da situação de referência, ao longo dos coletores T16 a T12, no SWMM

A Figura 38, identifica a situação de referência, dos coletores T10, T11, T12 e T13, pois são aqueles mais próximos da zona de implantação futura da bacia de retenção.

Importa realçar, que a análise das condições de drenagem, daqui em diante, vai focar exclusivamente nos coletores T10, T11, T12 e T13, pois são aqueles mais próximos da câmara de visita CV12, que fará

a ligação entre a rede de drenagem e a bacia de retenção. No entanto, é importante relembrar que problemas de funcionamento do sistema, como os verificados nas câmaras de visita, ocorrem em diversas outras zonas da rede, como é o caso de grande parte dos coletores e câmaras de visita (CV46, CV49, T44, T47) da rua Henrique Bravo (Figura 40).

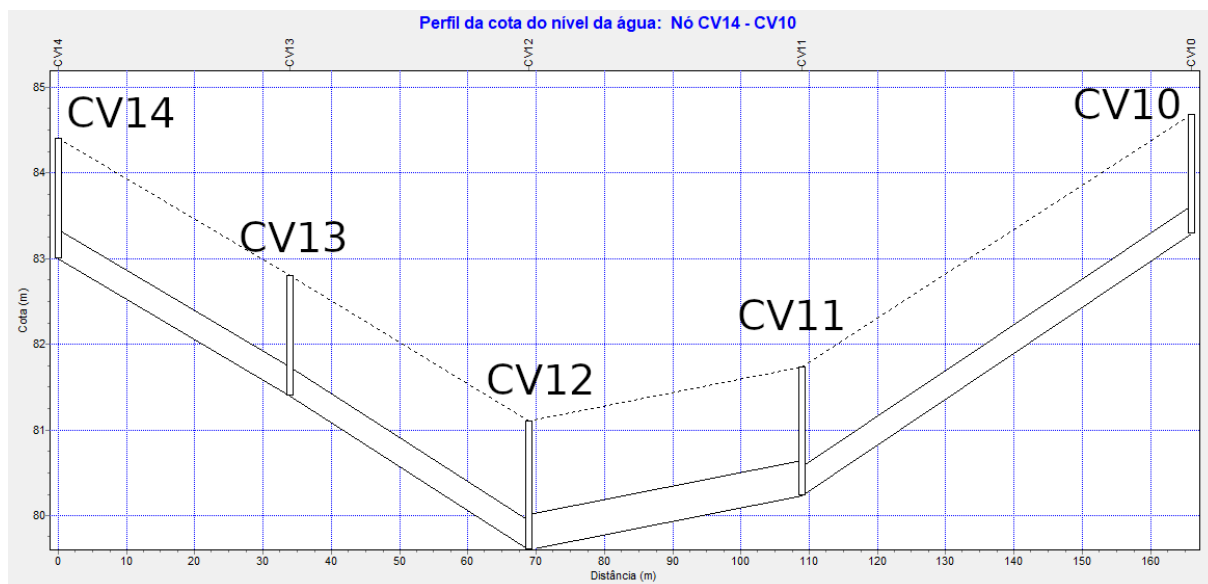


Figura 38 - Situação de referência relativa aos coletores T10, T11, T12 e T13, no SWMM

Efetuada uma análise recorrendo ao modelo estático, isto é, somente a contribuição dos caudais de ponta é avaliada, verifica-se a entrada em carga por parte da câmara de visita CV12 (Figura 39).

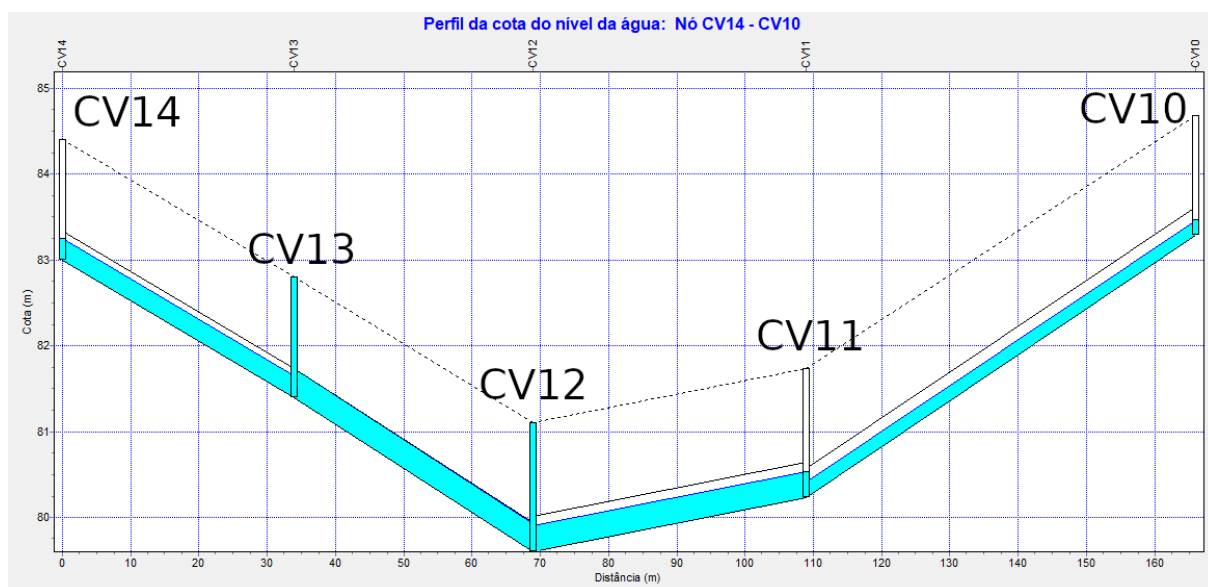


Figura 39 - Resposta do sistema numa situação onde apenas contribui os caudais de ponta (modelo estático), no SWMM

Esta verificação, por si só identifica a fragilidade do sistema de drenagem de águas pluviais, principalmente no que diz respeito à câmara de visita CV12.

É claro que situações destas não podem ocorrer em caso real, pois coloca não só o funcionamento da rede em causa, mas também potencia o desgaste estrutural das condutas, origina extravasamento para as ruas e levanta questões ambientais e higiénicas, às quais os moradores locais estarão sujeitos.

De certa forma, o problema poderia ser resolvido alterando as inclinações das condutas, assim como o aumento da secção dos coletores. Não obstante, foram introduzidas algumas pequenas alterações de secção em condutas neste modelo, nomeadamente em zonas cuja inclinação era muito e reduzida, a rondar os limites inferiores do Decreto Regulamentar 23/95, pois os problemas de funcionamento da rede eram de tal forma graves, que resolveu-se proceder a essa alteração. Contudo, o objetivo deste trabalho, não vai de encontro com a metodologia referida.

É inegável que as sub-bacias desempenham um papel fundamental para o mau comportamento do sistema, sendo que o comportamento do sistema se encontra a funcionar em carga, em diversos trechos da rede, originando extravasamentos em diversos pontos da rede. A Figura 40 demonstra o mau comportamento do sistema que se manifesta com especial interesse nas ruas Henrique Bravo e uma parcela da rua das Laranjeiras.

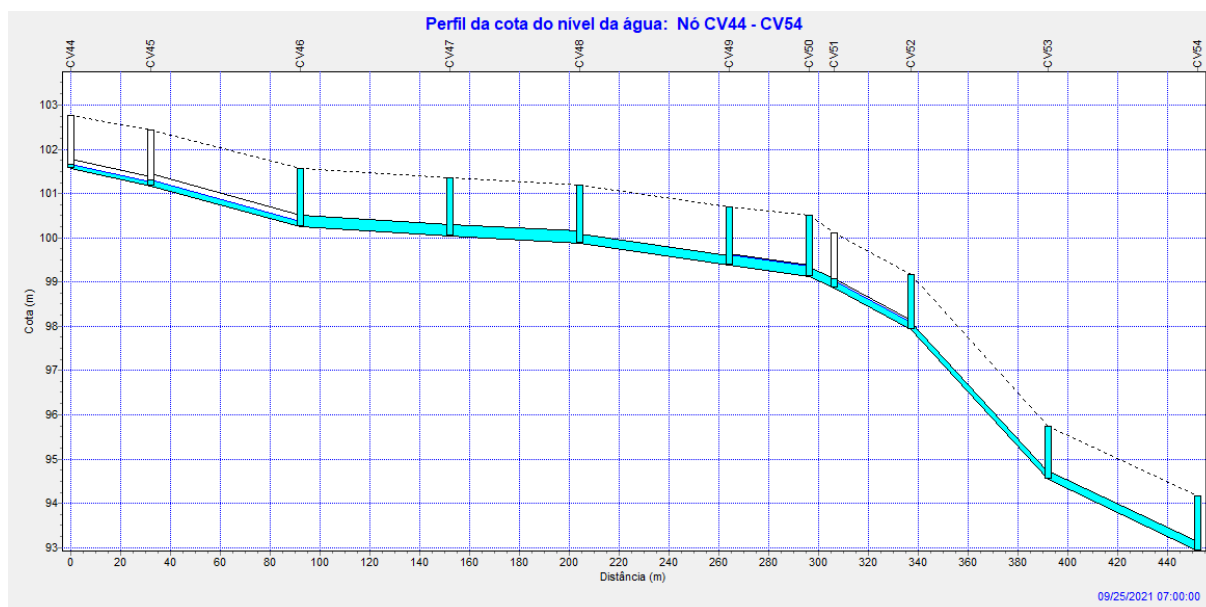


Figura 40 - Simulação da resposta do sistema de drenagem de águas pluviais, na rua Henrique Bravo e uma parcela da rua das Laranjeiras, no SWMM

De certo modo, a contribuição negativa das sub-bacias nos sistemas de drenagem de águas pluviais advém das afluências indevidas muitas das vezes provenientes de cada uma das sub-bacias drenantes. A Figura 41, ilustra de que forma as afluências indevidas à rede de drenagem, alteram os hidrogramas das sub-bacias drenantes na zona afeta ao local de implementação futura da bacia de retenção.

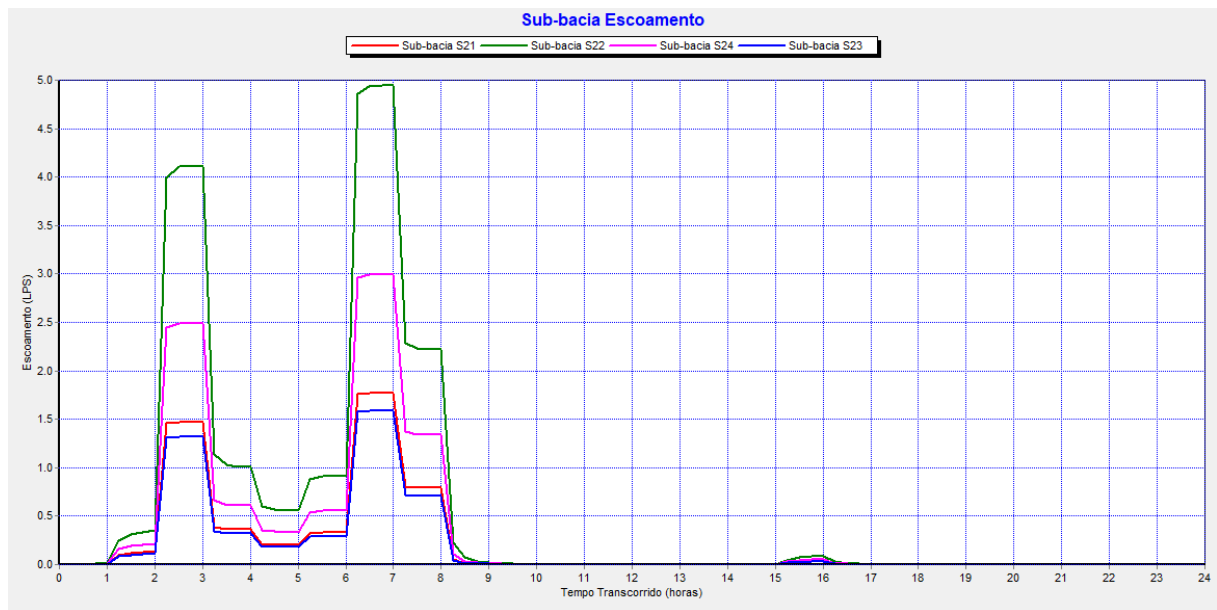


Figura 41 - Hidrograma das sub-bacias drenantes, relativas às sub-bacias S21, S22, S23 e S24, aquelas mais próximas do local de implantação da bacia de retenção, no SWMM

7.4. INTRODUÇÃO DA BACIA DE RETENÇÃO NO MODELO

Tendo em conta os resultados obtidos na situação de referência aquando da presença de precipitação e de forma a atenuar os seus efeitos, optou-se pela implantação de uma bacia de retenção no local apresentado na Figura 24.

A localização escolhida deveu-se ao facto de ser a zona mais baixa do terreno e, não existe qualquer tipo de edificado implementado naquele lugar, algo que é visto como um ponto vantajoso. Curiosamente, o escoamento natural das águas da zona de estudo, todos afluem no ponto escolhido para implementação, criando assim quase que uma perfeita bacia hidrológica para a zona de estudo.

De grosso modo, o dimensionamento hidráulico de uma bacia de retenção consiste na definição do volume necessário para regular o caudal efluente, de maneira que este não ultrapasse um limite pré-estabelecido. Portanto, estabelece-se uma limitação de caudal de saída da bacia de retenção, que resulta da capacidade máxima de transporte mais condicionante, a jusante.

A Figura 42, pretende demonstrar o traçado do modelo hidráulico, no SWMM, já com a bacia de retenção (DEP1).

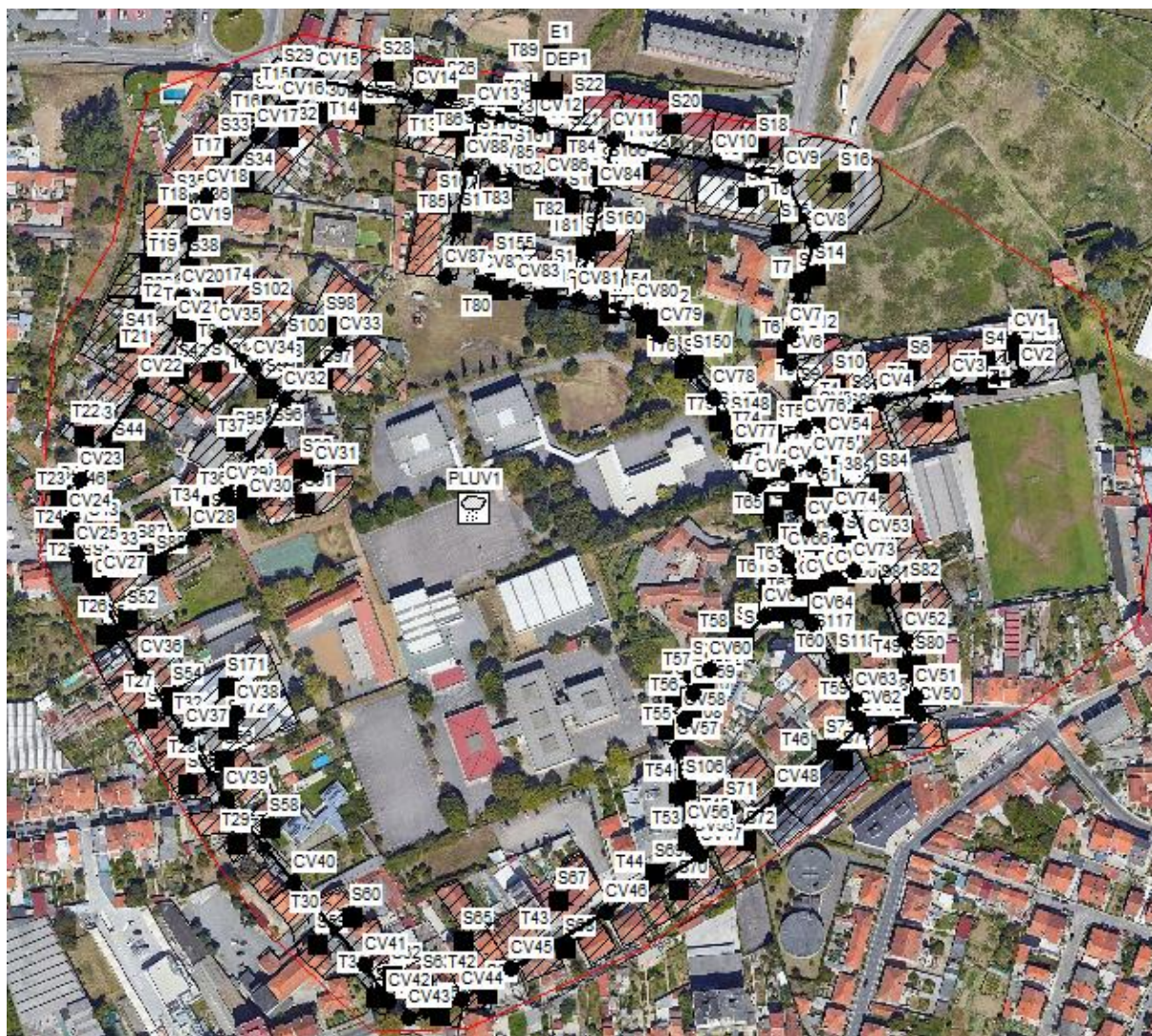


Figura 42 - Modelo Hidráulico, incluindo a bacia de retenção (DEP1), no SWMM

Como já fora referido, a câmara de visita CV12 fará a ligação entre a rede de drenagem e a bacia de retenção. Escolheu-se tal câmara, uma vez que esta se encontra no ponto que coincide com a afluência dos escoamentos das zonas Este, Oeste e Sul da zona em estudo. Corresponde, ainda, ao ponto de cota mais baixa do sistema.

A ligação entre o sistema e a bacia de retenção, é efetuada por um coletor denominado T88, cuja extensão são 20 metros, inclinação do terreno de 5.50%, inclinação do coletor de 8.00% e diâmetro de $\Phi 630$. A cota do *radier* da bacia encontra-se aos 78.00 metros.

Já o coletor de saída T89, que faz a ligação da bacia de retenção até ao nó exutório apresenta uma secção de $\Phi 250$.

Na definição da bacia de retenção no SWMM, os parâmetros introduzidos foram (Figura 43):

- Ponto de coordenadas (X e Y);
- Código de identificação da bacia (DEP1);
- Cota do *radier* (78.00 metros);
- Altura máxima (2 metros);
- Curva que relaciona a área superficial e a profundidade (curva tabular).



Propriedades	Valor
Identificador	DEP1
Coordenada X	532953.574
Coordenada Y	4560855.139
Descrição	
Etiqueta	
Afluentes	NO
Tratamento	NO
Cota do radier	79.00
Profundidade Max.	2.00
Profundidade Inicial	0
Área Alagada	0
Fator de Evaporação	0
Infiltração	NO
Curva do Reservatório	TABULAR
Curva Funcional	
Coeficiente	1000
Expoente	0
Constante	0
Curva Tabular	
Nome da Curva	Rectangular

Clique para especificar afluentes para a unidade de armazenamento.

Figura 43 - Janela De Input Dos Dados Relativos À Bacia De Retenção (Dep1), No SWMM

Realça-se que a recolha da cota topográfica da bacia de retenção foi realizada da mesma forma que as câmaras de visita e coletores, ou seja, recorrendo aos levantamentos topográficos disponibilizados.

A profundidade máxima da água (2 metros) foi definida por recomendação da literatura (Woods-Ballard, et al., 2007).

Conhecida a profundidade da bacia, recorreu-se a um processo iterativo de dimensionamento para a obtenção da área da bacia de retenção e o respetivo volume de armazenamento. Este processo iterativo baseia-se na introdução de valores para área da bacia no modelo elaborado no SWMM até que se obtenha uma altura de água na bacia inferior a 2 metros.

Desta forma, na sequência de várias iterações, obteve-se uma bacia de 900 m², correspondendo a uma secção retangular de 36 m por 25m, o que garante um volume de 1800 m³, onde não se verifica qualquer tipo de transbordamento para a chuvada em causa. A profundidade de água verificada pode ser verificada na Figura 46, onde a altura máxima da água apresenta o valor de 1.86 metros, valor este abaixo dos 2 metros estabelecidos como nível máximo. A Figura 44 demonstra a forma como se inseriram os dados referentes à área da bacia de retenção.

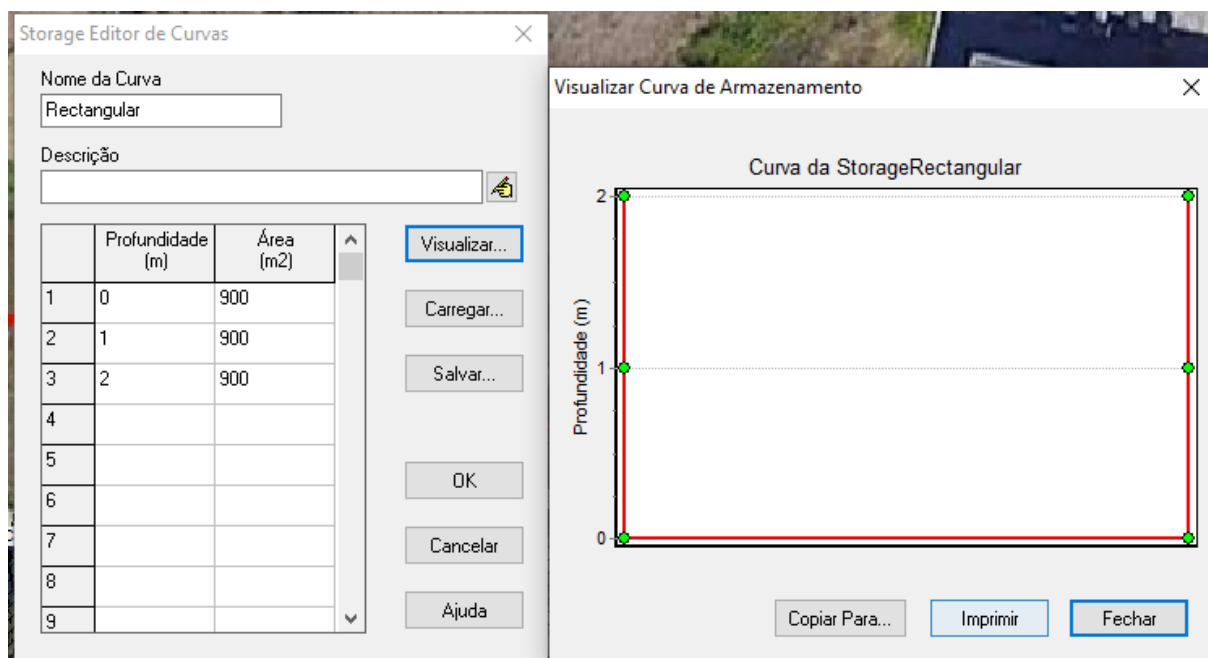


Figura 44 - Representação da curva de armazenamento da bacia de retenção, no SWMM

Assim, procedeu-se à recolha dos hidrogramas de cheia, relativos às condutas de entrada (T88) e de saída (T89) da bacia de retenção (Figura 45).

Analisando a Figura 45, observa-se que a conduta T89 consegue responder de forma positiva relativamente aos caudais afluentes, restringindo os caudais de ponta. Identifica-se que aflui na bacia de retenção, um caudal de ponta de 393.16 l/s. As características do coletor T88, no instante 07:00:00 (o instante mais crítico) podem ser identificadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Características do escoamento afluente à bacia de retenção, no coletor T88, no instante 07:00:00

Caudal (l/s)	Profundidade de água na conduta (m)	Velocidade (m/s)	Número de Froude	Capacidade
393.16	0.26	3.59	2.52	0.50

Com a introdução da bacia, caudal efluente à bacia reduz-se para 121.61 l/s, as características observadas no coletor T89, no instante mais crítico (07:00:00), apresentam-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Características do escoamento efluente à bacia de retenção, no coletor T89, no instante 07:00:00

Caudal (l/s)	Profundidade de água na conduta (m)	Velocidade (m/s)	Número de Froude	Capacidade
121.61	0.19	3.71	2.26	0.91

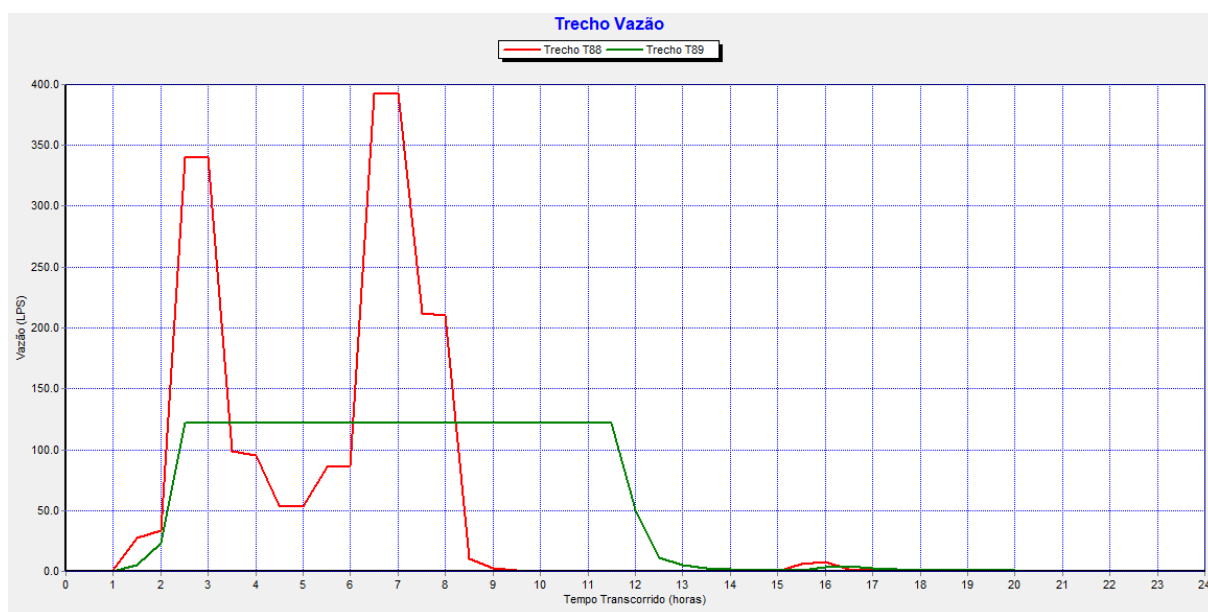


Figura 45 - Representação dos hidrogramas de cheia relativos às condutas de entrada (T88) e de saída (T89) da bacia de retenção, no SWMM

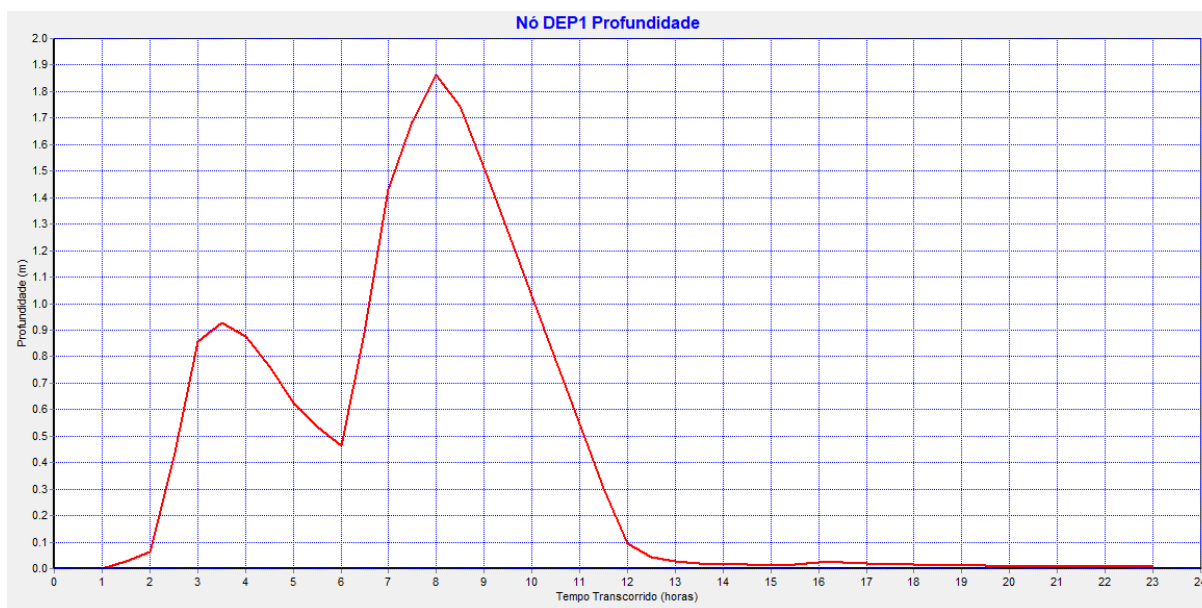


Figura 46 - Profundidade da água no interior da bacia de retenção, no SWMM

Para o instante mais crítico da chuvada, (Figura 47), identifica-se o comportamento verificado ao longo dos trechos T12, T88 e T89.

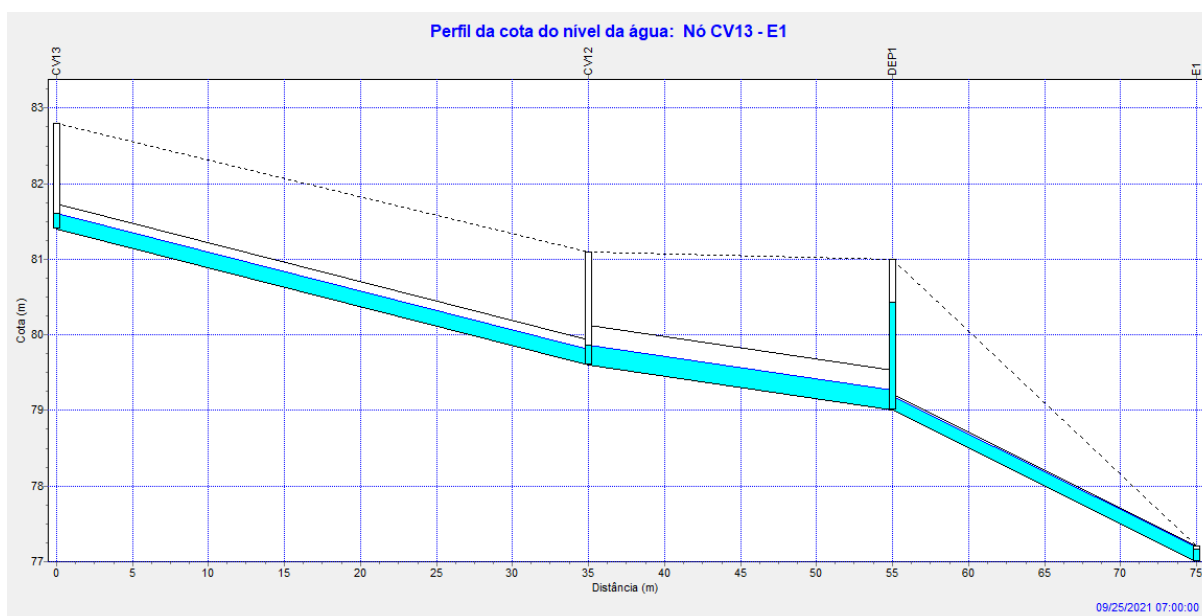


Figura 47 - Resposta dos trechos T12, ligação e saída da bacia, (T88) e (T89), respetivamente, no instante mais crítico

Em suma, pode-se afirmar que os resultados obtidos através do dimensionamento da bacia de retenção são positivos. É possível mitigar os problemas de caudais de ponta demasiado elevados, os problemas de extravasamento na rede de drenagem foram mitigados e a bacia de retenção cumpre com os requisitos recomendados. Foi, então, possível recriar a situação desejada, representada na Figura 2, através da aplicação de um sistema SUDS.

(Página propositadamente deixada em branco)

8

ABORDAGENS ALTERNATIVAS DE DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE RETENÇÃO

8.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo serve como forma de apresentar algumas abordagens alternativas de dimensionamento da bacia de retenção, nomeadamente:

- Dimensionamento recorrendo ao método neerlandês;
- Dimensionamento com forma da bacia trapezoidal;

Tal como no método anterior, o dimensionamento da bacia consiste na definição do volume necessário para regular o caudal afluente. Porém, para o método neerlandês será aplicado à bacia o volume calculado correspondente à situação de pós-urbanização, enquanto o dimensionamento da bacia trapezoidal faz uso da topografia do local de forma a perceber se é vantajoso a utilização de uma bacia em trapézio.

Apresenta-se, ainda, o comportamento da bacia dimensionada atendendo a eventos de precipitação diferentes do utilizado anteriormente, de forma a avaliar o funcionamento da bacia de retenção, para a condição apresentada no capítulo anterior. Os eventos considerados foram os seguintes:

- Chuvada do dia 20 de fevereiro do ano hidrológico de 2020/2021;
- Uma grande chuvada verificada no distrito do Porto, no dia 19 de outubro de 2019.

8.2. DIMENSIONAMENTO RECORRENDO AO MÉTODO NEERLANDÊS

Considerando as definições da bacia de retenção anteriormente utilizadas, nomeadamente:

- Mesmo ponto de aplicação da bacia;
- Cota de fundo de 78 metros;
- Altura máxima de 2 metros;
- Curva que relaciona a área superficial e a profundidade (curva tubular);
- Forma da bacia retangular.

Após a definição da profundidade da bacia, passa-se, então, ao dimensionamento da bacia de retenção propriamente dita.

Relativamente aos coletores de entrada (T88) e saída (T89) da bacia, os utilizados neste modelo são exatamente os mesmos do modelo anterior, lembrando que apresentam 20 metros de extensão e secção de $\Phi 630$ e $\Phi 250$, respetivamente.

Relembrando que o valor de volume de retenção obtido pelo método neerlandês, calculado em 7.7.1 e 7.7.2, foi de 1386.8 m³, e tendo em conta a profundidade de água máxima na bacia corresponder a 2 metros, obteve-se uma bacia com uma área correspondente a 693.4 m².

Aplicando estas características, obteve-se o seguinte hidrograma de cheia nos coletores de entrada e saída da bacia (Figura 48), para além do nível de profundidade da água na bacia de retenção (Figura 49).

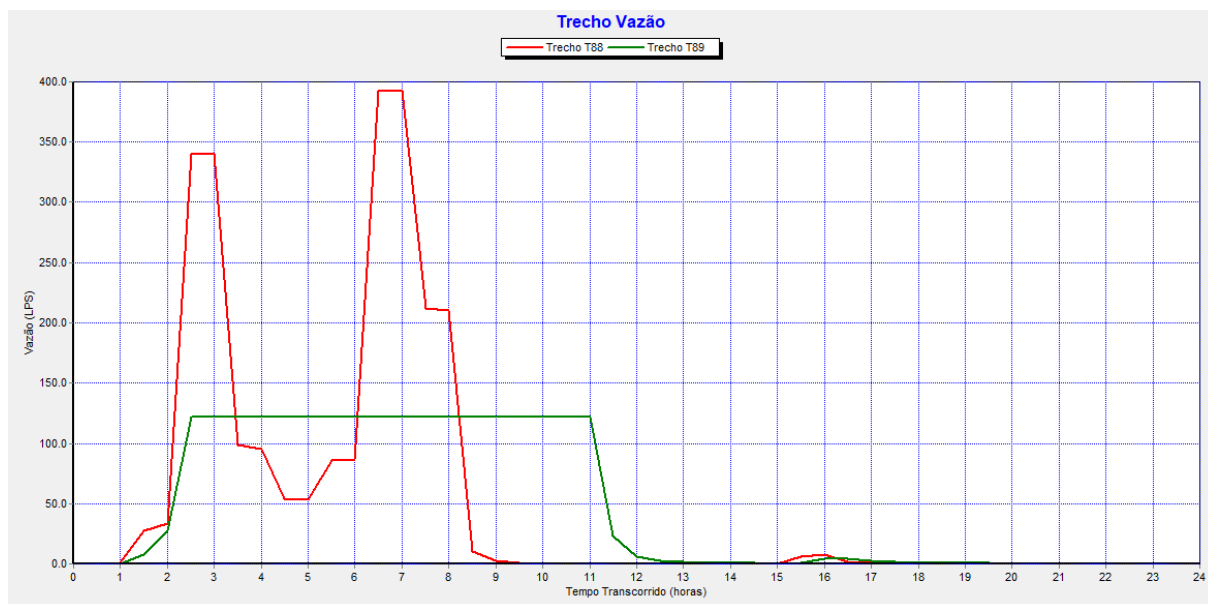


Figura 48 - Hidrograma De Cheia Relativo Aos Coletores De Entrada (T88) E Saída (T89) Da Bacia De Retenção, Para O Método Neerlandês, No SWMM

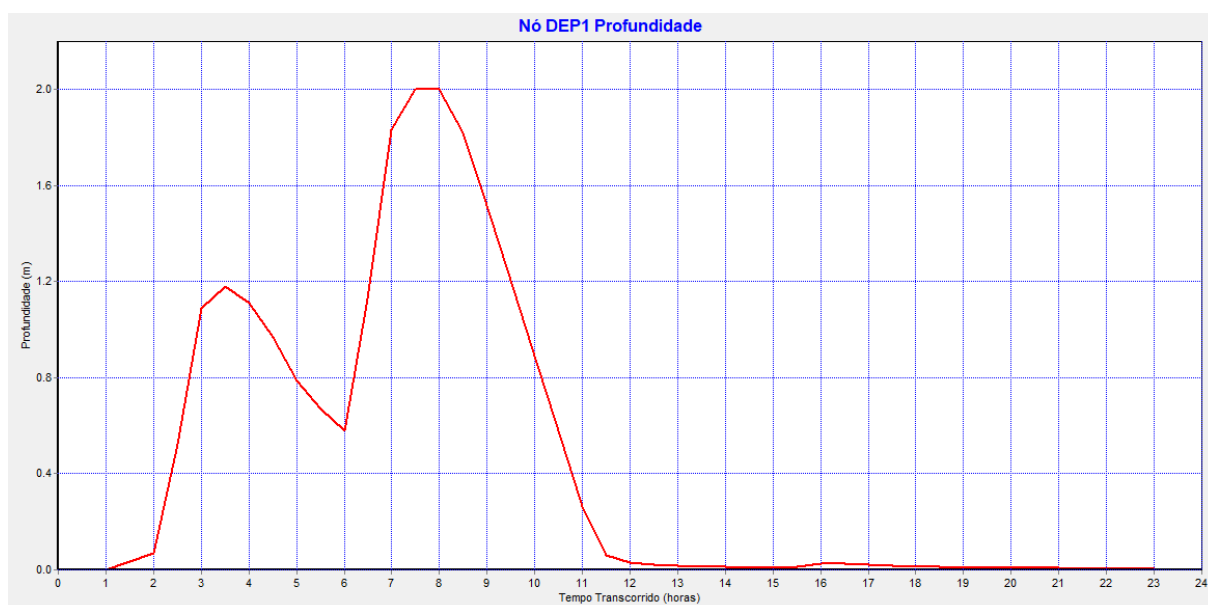


Figura 49 - Profundidade da água na bacia de retenção, para o método neerlandês, no SWMM

Pela análise dos resultados obtidos pela aplicação do método neerlandês, facilmente se observa o mau funcionamento do modelo. Apesar da introdução da bacia de retenção conseguir atenuar, de certa forma, os caudais de ponta afluentes, ocorre extravasamento por parte da bacia de retenção, visto que o nível de cota máximo é atingido e perdura por 1/2 hora (7:30 – 8:00).

Desta forma, não pode ser aplicado o método neerlandês em caso real, visto que a área da bacia e por consequentemente o volume de retenção da mesma são muito reduzidos. Porém, é um bom indicador prévio de como poderá ser o comportamento do sistema de retenção.

8.3. DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE RETENÇÃO COM FORMA TRAPEZOIDAL

Propõe-se o dimensionamento da bacia como uma forma diferente da retangular, para perceber se existe uma forma viável de implementar o dispositivo de retenção, fazendo uso das condições topográficas do ponto escolhido para a implementação.

O processo de dimensionamento da bacia seguido foi o mesmo utilizado inicialmente para a bacia com forma retangular: processo iterativo de cálculo que não permita transbordamento da bacia de retenção. Através, então, das iterações, foi possível chegar às correspondentes áreas, apresentadas na Tabela 12 e Figura 50.

Tabela 12 - Áreas da bacia de retenção, relativamente à profundidade, para uma bacia com forma trapezoidal

Profundidade (m)	Área (m ²)
0	800
1	900
2	1000

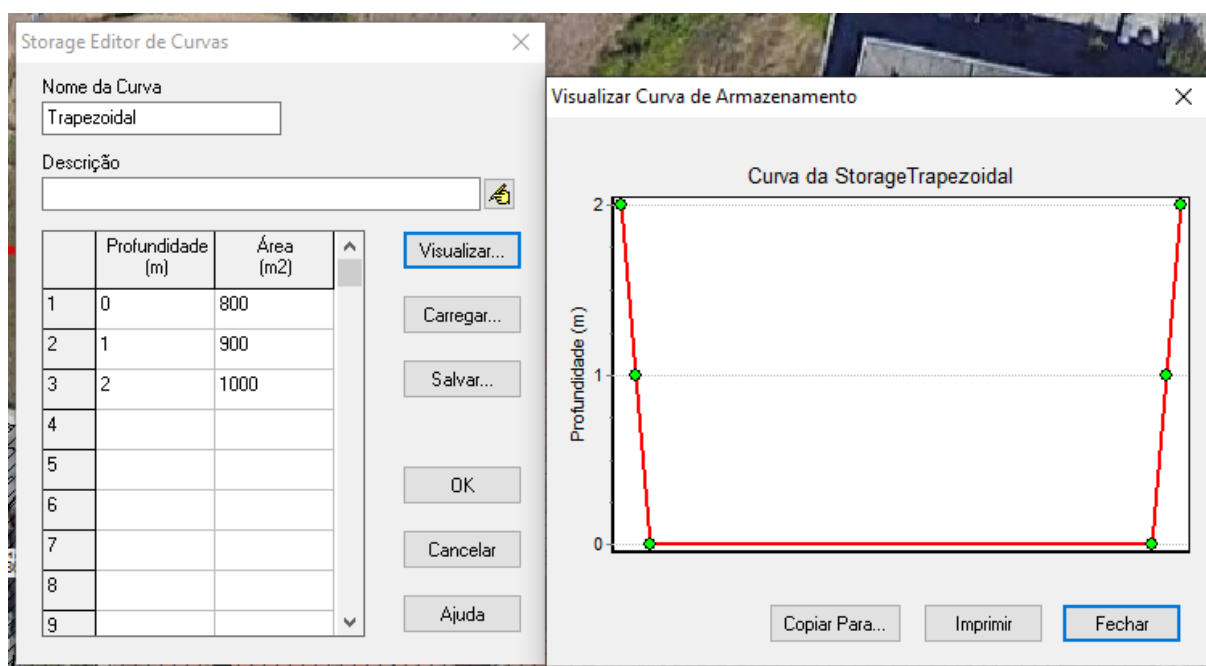


Figura 50 - Forma da bacia de retenção trapezoidal, no SWMM

Depois de dimensionada a bacia, avalia-se o comportamento do hidrograma de cheia dos coletores de entrada e saída do dispositivo de retenção (Figura 51) e a profundidade de água obtida (Figura 52).

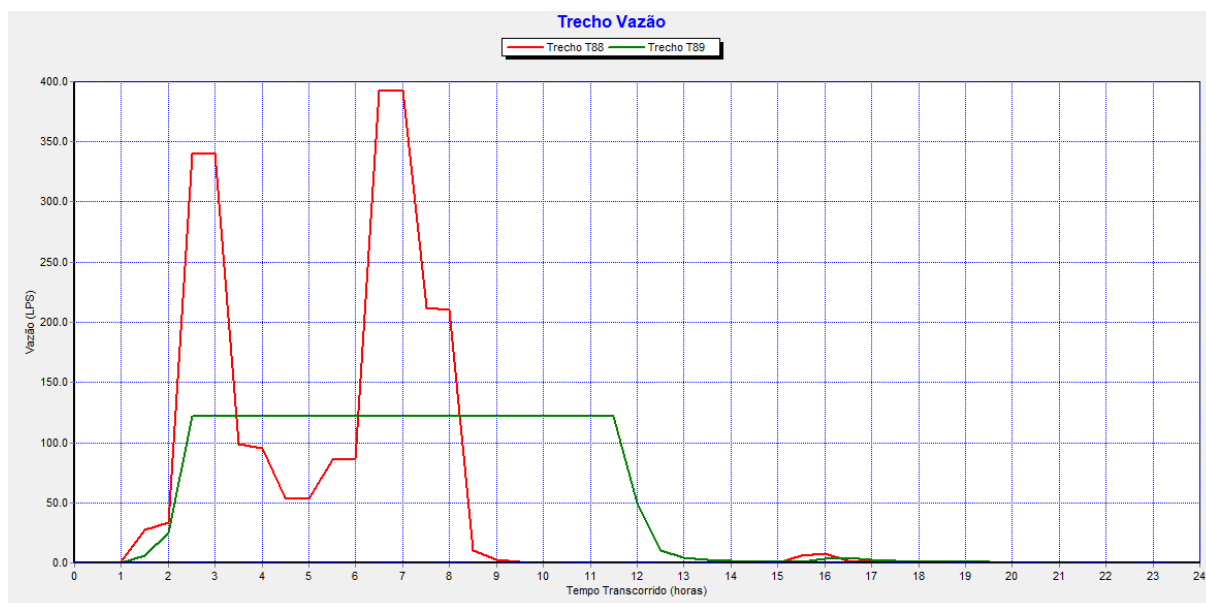


Figura 51 - Hidrograma de cheia dos trechos de entrada e saída da bacia de retenção com forma trapezoidal, no SWMM

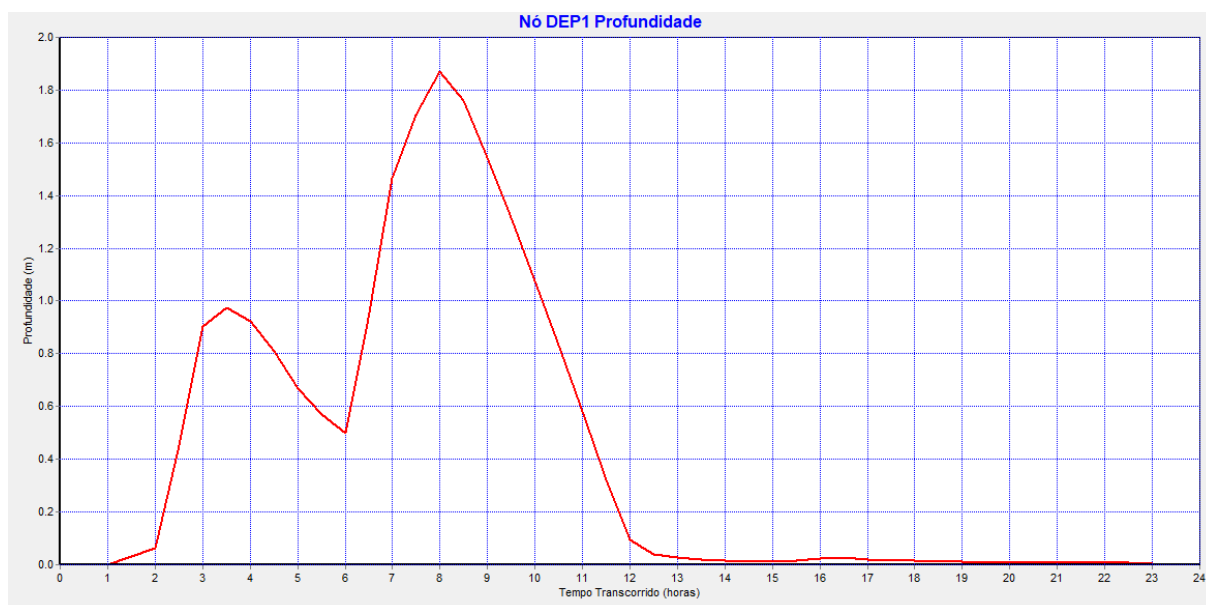


Figura 52 - Profundidade da água na bacia de retenção trapezoidal, no SWMM

Avaliando o hidrograma de cheia (Figura 51), consegue-se identificar a limitação dos caudais de ponta através da introdução do sistema SUDS, ficando o trecho T89 a descarregar um caudal máximo de 121.61 l/s, uma redução bastante drástica em comparação com os 393.16 l/s afluentes na bacia, pelo que ocorre um funcionamento correto por parte do dispositivo de retenção. Relativamente ao hidrograma

para esta situação, este não difere muito do obtido na bacia de forma retangular, sendo que a maior diferença se verifica na profundidade de água na bacia.

Já pela análise da Figura 52, verifica-se um nível máximo de água no interior da bacia de 1.87 metros. De certa forma, os resultados obtidos com uma forma da bacia trapezoidal são muito semelhantes aos obtidos anteriormente para a bacia retangular, pelo que não se justifica o seu emprego. O terreno, neste caso em concreto, não apresenta desnível de cota suficiente para a aplicação de uma bacia trapezoidal ser vantajosa.

8.4. RESPOSTA DA BACIA DE RETENÇÃO A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO DIFERENTE

A análise da resposta da bacia retangular dimensionada anteriormente face a um evento de precipitação diferente deveu-se à necessidade de avaliar o comportamento da bacia de retenção dimensionada no Capítulo 7.

A bacia de retenção avaliada é exatamente a mesma, cujo dimensionamento foi descrito no Capítulo 7, sendo as suas características as seguintes:

- Ponto de coordenadas (X e Y);
- Código de identificação da bacia (DEP1);
- Cota do radier (78.00 metros);
- Altura máxima (2 metros);
- Curva que relaciona a área superficial e a profundidade (curva tabular);
- Área de retenção: 900 m²;
- Volume de retenção: 1800 m³.

Para tal, recorreu-se, mais uma vez, à página do SNIRH para efetuar a recolha de uma nova chuvada, relativa ao ano hidrológico de 2020/2021. Escolheu-se a chuvada referente ao dia de 20 de fevereiro de 2021, onde o somatório das alturas de precipitação verificadas nesse dia foi de 42.5 mm. A Figura 53 demonstra o registo de precipitação, referente ao dia de 20 de fevereiro de 2021.

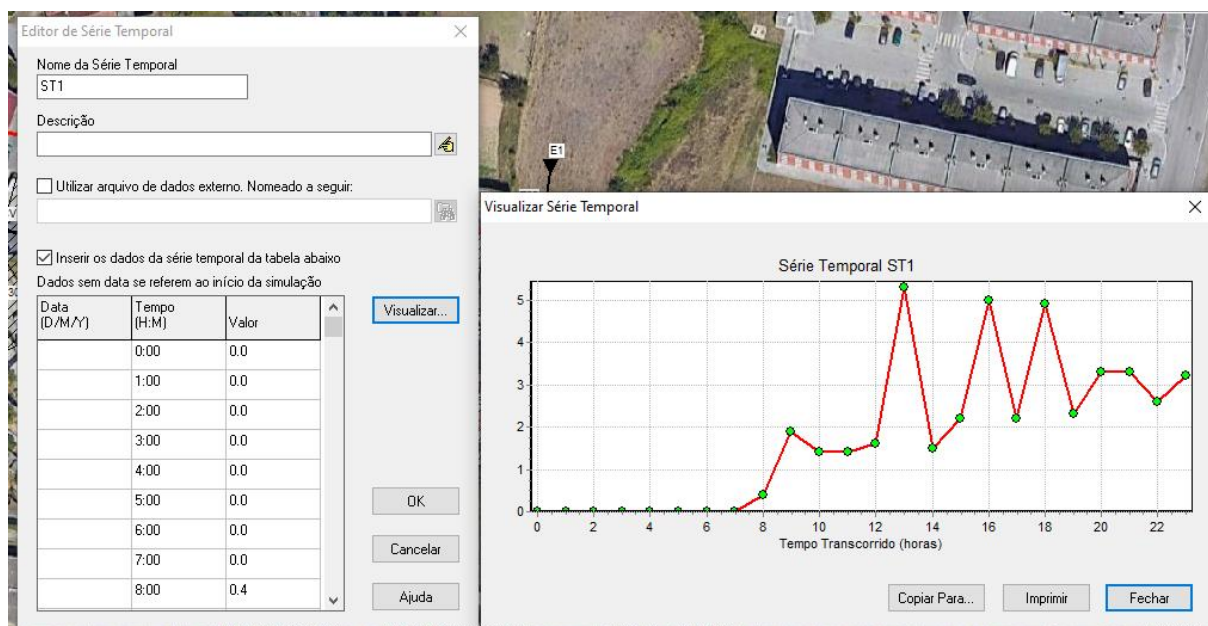


Figura 53 - Registo de precipitação referente ao dia de 20 de fevereiro de 2021, no SWMM

Analisando o hidrograma de cheia referente aos tubos de entrada e de saída bacia (Figura 54), assim como o gráfico de avaliação da profundidade de água na bacia de retenção (Figura 55), verifica-se que o funcionamento da bacia não é alterado o suficiente para ocorrerem grandes diferenças no funcionamento do dispositivo de retenção.

Visto que a chuva não é intensa o suficiente para se atingirem caudais de ponta muito altos, a parcela de água retida na bacia é muito reduzida. Já a profundidade de água verificada na bacia corresponde apenas a 0.15 metros de altura.

O funcionamento do sistema, não é comprometido.

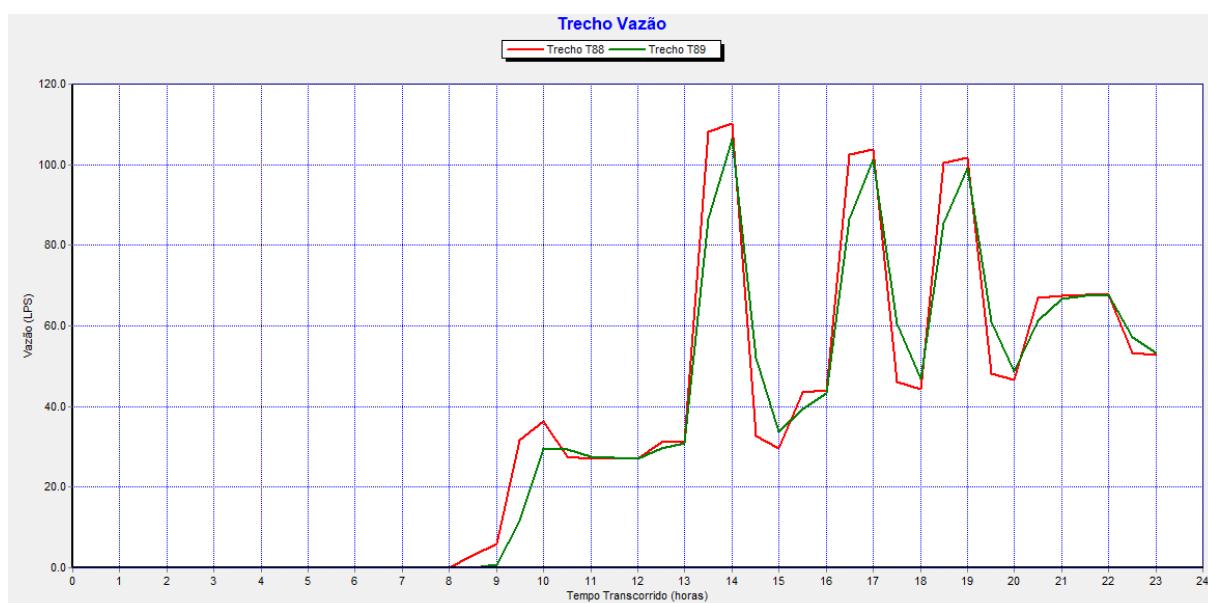


Figura 54 - Hidrograma de cheia verificado nos coletores de entrada e de saída da bacia de retenção, para o dia de 20 de fevereiro de 2021, no SWMM

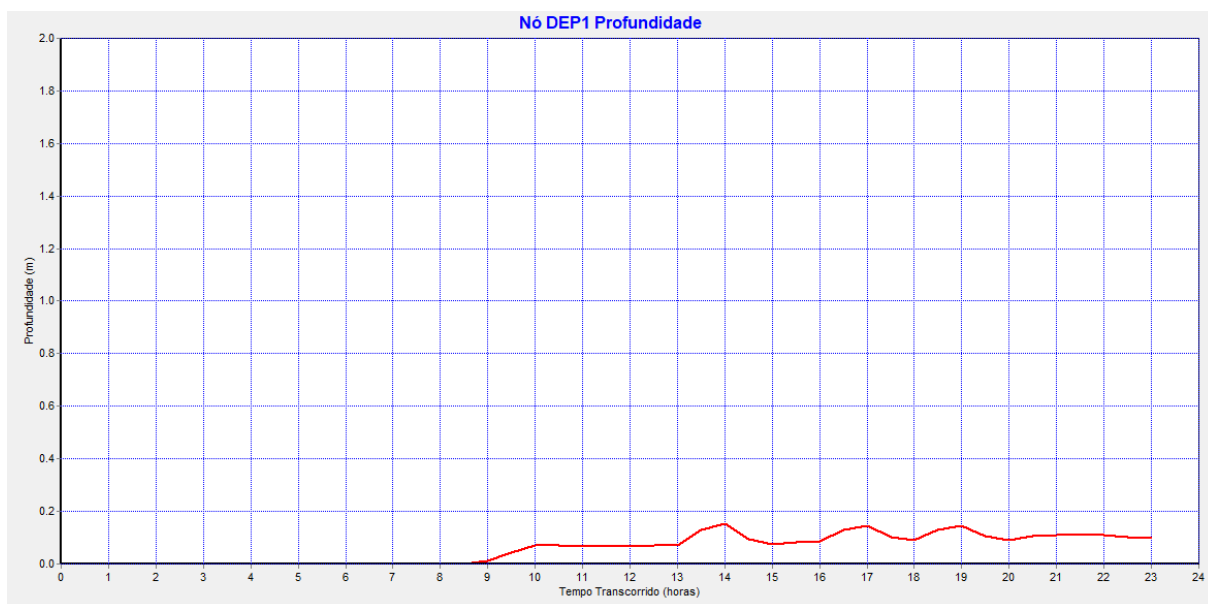


Figura 55 - Gráfico da evolução da profundidade de água verificada na bacia de retenção, para o dia de 20 de fevereiro de 2021, no SWMM

8.5. RESPOSTA DA BACIA FACE A UMA GRANDE CHUVADA, VERIFICADA NO DIA 19 DE OUTUBRO DE 2019

A verificação da resposta da bacia dimensionada face a um evento de precipitação extremo, é importante pois permite observar qual o comportamento do dispositivo de retenção, e que precauções deverão de ser tomadas caso se verifique, novamente, um evento deste género.

Perante a chuvada verificada a 19 de outubro de 2019, observa-se uma altura de precipitação diária de 107.7 mm. Em comparação com a chuvada de dimensionamento da bacia de retenção (64.4 mm), este valor de altura de precipitação é superior em 43.3 mm, que se traduz num aumento em cerca de 59.8%, face à anterior.

O registo de precipitação ocorrido, pode ser observado na Figura 56.

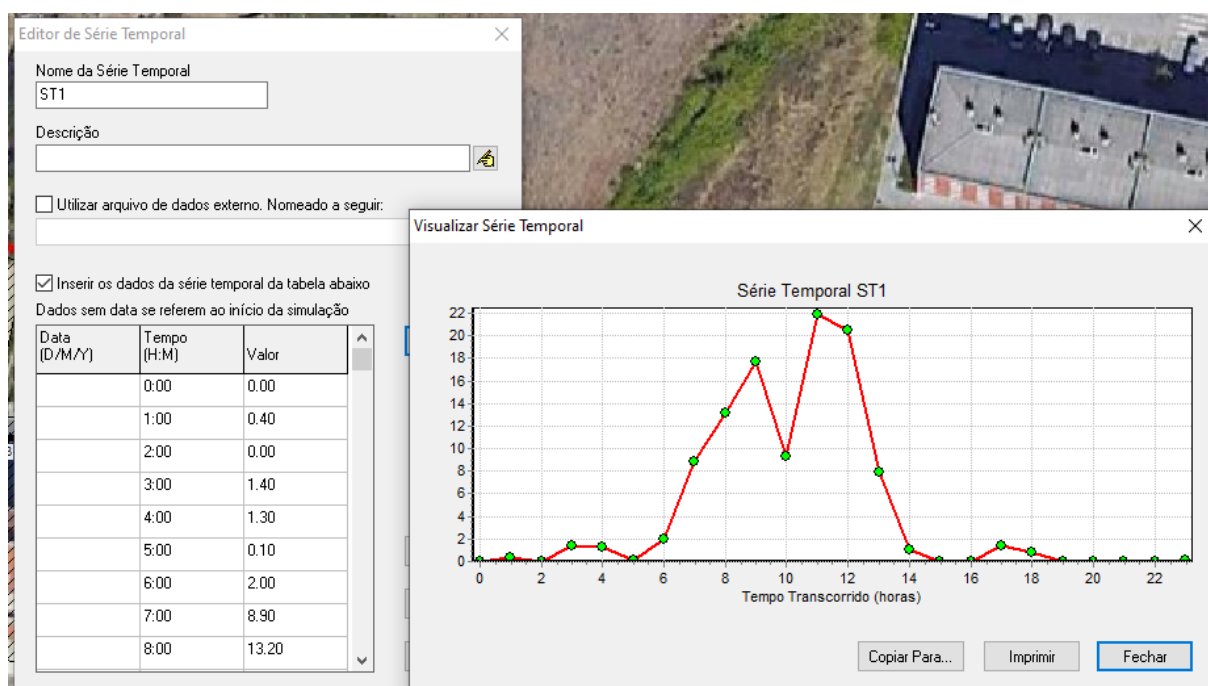


Figura 56 - Registro de precipitação referente ao dia de 19 de outubro de 2019, no SWMM

As características da bacia de retenção e tubagens de entrada e saída são exatamente as mesmas que foram consideradas anteriormente.

Desta forma, obteve-se o hidrograma de cheia relativo à chuvada extrema (Figura 57) e respetiva profundidade de água na bacia de retenção (Figura 58).

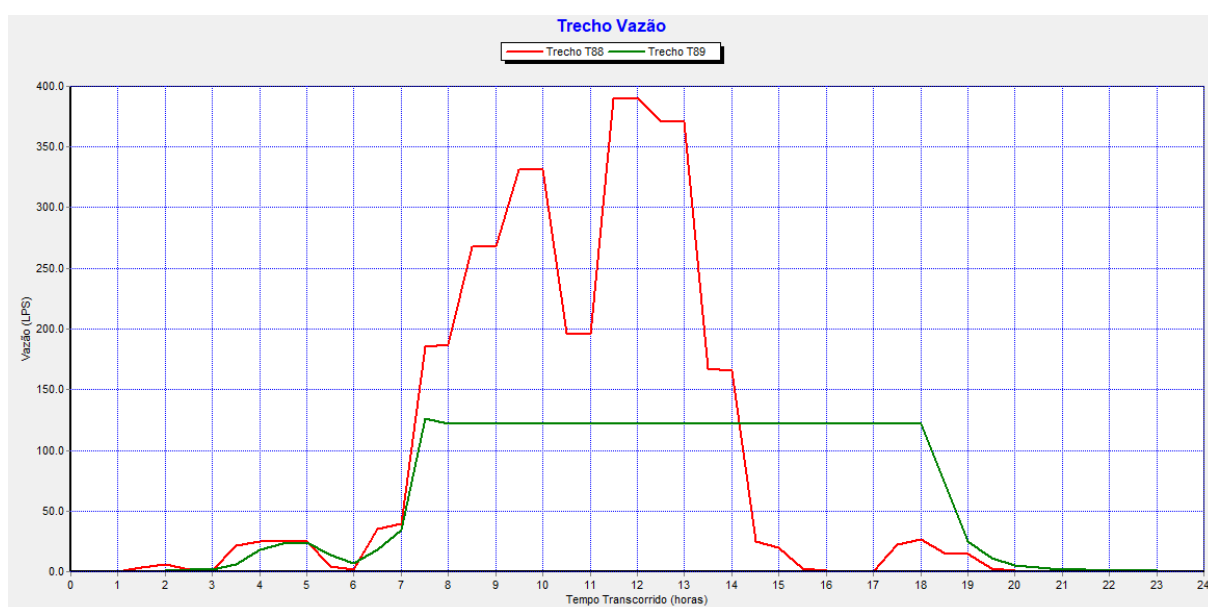


Figura 57 - Hidrograma de cheia verificado nos coletores de entrada e de saída da bacia de retenção, para o dia de 19 de outubro de 2019, no SWMM

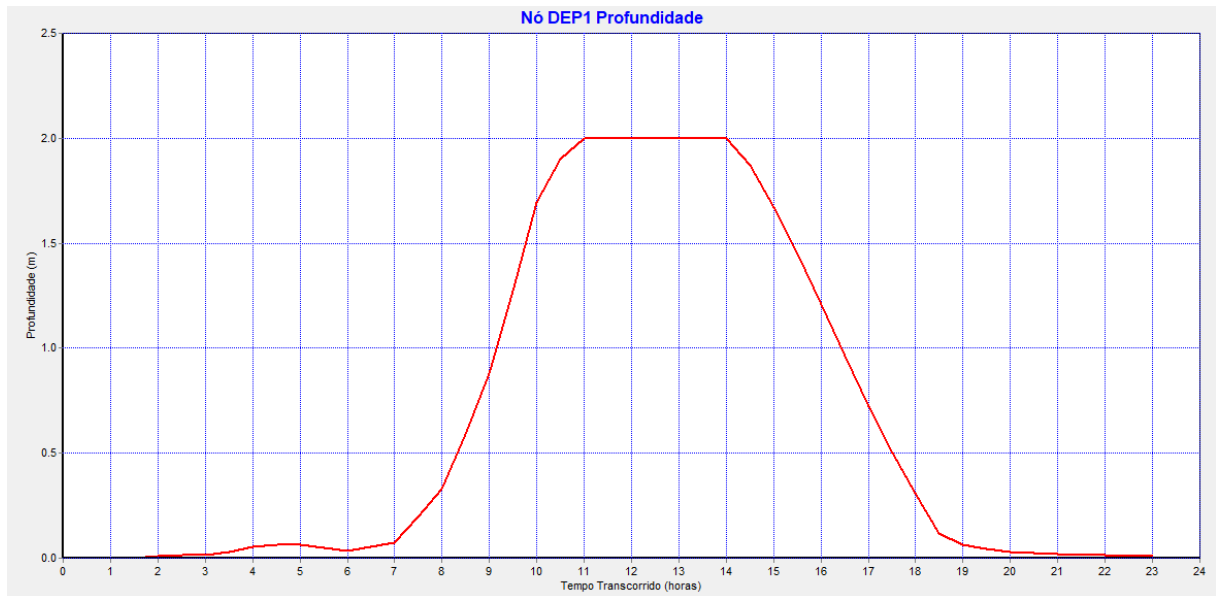


Figura 58 - Gráfico da evolução da profundidade de água verificada na bacia de retenção, para o dia de 19 de outubro de 2019, no SWMM

Pela análise das figuras anteriores, verifica-se o mau funcionamento do dispositivo de retenção face a uma chuvada deste tipo. A conduta T89, funciona na plenitude da sua capacidade, algo que não é recomendável. Além disso, a altura de água na bacia de retenção ultrapassa os 2.0 metros entre as 10 e 14 horas, ocorrendo, assim, extravasamento de água.

De certo modo, era expectável que a bacia não apresentasse bons resultados aquando da ocorrência de eventos de precipitação extremos, visto que, perante chuvadas como esta não há nada a fazer quanto ao mau funcionamento do sistema de drenagem de águas pluviais.

(Página propositadamente deixada em branco)

9

CONSIDERAÇÕES FINAIS

9.1. CONCLUSÕES GERAIS

A impermeabilização dos solos de ambiente urbano modifica o ciclo natural da água através dos impactos introduzidos no sistema, o que prejudica o bem-estar, não só do ecossistema aquático, mas também do quotidiano das populações que sofrem com as consequências.

Não esquecer que o escoamento superficial, originado por problemas técnicos da rede de drenagem, pelas afluências indevidas no sistema, topografia do terreno onde se insere a rede e, até mesmo, por fenómenos de precipitação intensa, constitui o principal problema das redes de drenagem nos dias de hoje. É importante a adoção de uma política de estratégia que realize a gestão das águas pluviais que considere na sua constituição Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis.

Por meio do desenvolvimento do caso de estudo, provou-se a viabilidade da introdução de um dispositivo do tipo SUDS, na zona em causa, nomeadamente no que respeita os problemas de extravasamento verificados em diversos pontos do sistema de águas pluviais.

A aplicação do programa SWMM, revelou uma sensibilidade absoluta na modelação e simulação do sistema de águas pluviais, o que associada à simples aplicação do mesmo, revela-se como uma ferramenta com potencial enormíssimo para apoiar a futura decisão a ser tomada pelas autoridades competentes. Facilmente se identifica que a introdução da bacia de retenção no local proposto melhora bastante as condições locais, o que realça a importância da realização do modelo hidráulico.

Contudo, é necessária uma avaliação crítica dos resultados obtidos. Os problemas de drenagem do sistema poderiam ser acautelados através da introdução de condutas com secção superior e/ou alteração da inclinação dos coletores, porém não é esse o objetivo do presente trabalho. De grosso modo, o processo de calibração do modelo é fulcral em simulações de comportamento de um sistema de drenagem de águas pluviais.

Não obstante, o modelo realizado não pretende ser uma resposta definitiva aos problemas existentes, apenas deseja propor qual a resposta que seria possível obter no sistema de águas pluviais com a inserção de um dispositivo de retenção.

9.2. DIFICULDADES SENTIDAS NO DECORRER DO TRABALHO

No decorrer do presente trabalho, a maior dificuldade sentida foi na identificação do erro inicial verificado durante a realização da aplicação da bacia de retenção no modelo.

Felizmente, depois de bastantes tentativas, foi possível verificar que o erro não era mais nada menos do que uma simples falta de atenção durante o processo de modelação.

9.3. TRABALHOS FUTUROS PROPOSTOS

A presente dissertação não pretende concluir o processo de decisão da solução definitiva a ser implementada, de forma a acautelar os problemas de drenagem de águas pluviais na zona em estudo. Apenas deve ser tomado como uma solução mitigadora dos seus efeitos, por forma a aprimorar o desempenho do sistema em estudo.

Ao longo do trabalho, por consequência da incerteza na quantificação de parâmetros como as áreas das sub-bacias drenantes, tipo e uso do solo, inclinações do terreno e tipos e estado dos pavimentos, verificaram-se algumas dificuldades na calibração dos modelos realizados, o que suscita novas abordagens, sugestões e recomendações.

A recolha de informações relacionadas com o tratamento de dados do território e Sistemas de Informação Geográfica, caso realizada por uma equipa topográfica, poderia promover uma calibração do modelo mais concisa. De certo modo, são os parâmetros correlacionados com os aspetos territoriais que mais incerteza acrescem nos modelos.

Se possível, seria interessante um levantamento do cadastro da rede de drenagem de águas pluviais, consultando a entidade gestora que gere a mesma. Deste modo, ao invés de se proceder ao dimensionamento da rede propriamente dita, apenas se procederia a avaliar qual o efeito da implementação de um dispositivo de retenção, tendo por base a rede de drenagem de águas pluviais existente na zona de estudo.

Seria igualmente de ponderar, uma avaliação da possibilidade de encaminhamento das águas retidas na bacia de retenção modelada nesta dissertação, para uma Estação de Tratamento de Águas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, H. A. (2007). *Afluências Indevidas aos Sistemas de Drenagem de Águas Residuais*. Porto: FEUP.
- Arbelo, A. R. (2017). *S.U.D.S., Sistemas Urbanos de Drenaje Sostentibles: Hacia una gestión integral del ciclo urbano del agua*.
- Avilez-Valente, P. (2020). Métodos de Redução de Caudais Pluviais. *Textos pedagógicos, desenvolvidos no âmbito da Unidade Curricular de Hidrologia e Recursos Hídricos*. Porto: FEUP.
- Baptista, D. (2021). *Afluências Indevidas nas Redes de Drenagem Públicas. Efeitos das Bacias de Retenção*. Porto: FEUP.
- Bichança, M. d. (2006). *Bacias de Retenção em zonas urbanas como contributo para a resolução de situações extremas: cheias e secas*. Porto: FEUP.
- Butler, D. e. (2018). *Urban Drainage*. Boca Raton: CRC Press.
- Câmara Municipal de Matosinhos. (2020). *Relatório - 1B: Revisão do PDM de Matosinhos*.
- Câmara Municipal de Matosinhos. (2020). *Relatório - Anexo VIII - Revisão do PDM de Matosinhos*. Matosinhos.
- Câmara Municipal de Matosinhos. (maio de 2022). Obtido de https://www.cm-matosinhos.pt/servicos-municipais/ambiente/agua/agua-de-consumo?folders_list_67_folder_id=678
- Diário da República. (23 de agosto de 1995). Decreto Regulamentar n.º 23/95.
- European Environment Agency. (2016). *Urban Sprawl in Europe*. Suíça: Federal Office.
- Gaspar, S. (2013). *Influência das Alterações Climáticas em Bacias de Retenção*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- INFOPÉDIA. (21 de maio de 2022). *INFOPÉDIA*. Obtido de [https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$matosinhos](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$matosinhos)
- Junta de Freguesia de Matosinhos e Leça da Palmeira. (maio de 2022). *Junta de Freguesia de Matosinhos e Leça da Palmeira*. Obtido de <http://www.jf-matosinhoslecapalmeira.pt/pages/166>
- Lencastre, A., & Franco, F. M. (1984). *Lições de Hidrologia*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Lima, J. P. (2013). *Hidrologia Urbana - Sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas*. Lisboa: ISBN 9789898360120.
- Lourenço, R. (2014). *Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis*. Instituto Politécnico de Coimbra: Coimbra.
- Maia, R. (2020). Hidrologia e Recursos Hídricos. *Textos pedagógicos, no âmbito da Unidade Curricular de Hidrologia e Recursos Hídricos*. Porto: FEUP.
- Mano, E. (2008). *Estudo de Bacias de Retenção, como solução para situações crescentes de urbanização*. Porto: FEUP.
- Matias, M. (2006). *Bacias de Retenção. Estudo de métodos de dimensionamento*. Porto: FEUP.
- Matos, R. (1999). *Controlo na origem de águas pluviais in curso: Estratégias para a reabilitação e beneficiação de sistemas públicos de drenagem de águas residuais*.

- Padrão, V. (2016). *Redes de Drenagem de Águas Pluviais - A integração e o desenvolvimento de órgãos acessórios*. Porto: FEUP.
- Pareja-Obregón, C. (2021). *Redes de Drenagem de Águas Pluviais – A Integração de Bacias de Retenção e Infiltração*. Porto: FEUP.
- Piqueiro, F. M. (2014). *Consolidando el drenaje sostenible en España. Drenaje Sostenible*.
- Piqueiro, F. M. (2021). *Águas Residuais - A aplicação do SWMM. Textos pedagógicos, no âmbito da Unidade Curricular de Sistemas de Drenagem Urbana*. Porto: FEUP.
- POLITEJO. (2015). *AMBIDUR - Manual Técnico*.
- PORDATA. (maio de 2022). *Municípios*. Obtido de Censos - População Residente : <https://www.pordata.pt/Municipios/Popula%C3%A7%C3%A3o+residente+segundo+os+Censos+total+e+por+sexo-17>
- PORDATA. (maio de 2022). *Municípios*. Obtido de Censos - Densidade Populacional: <https://www.pordata.pt/Municipios/Densidade+populacional+segundo+os+Censos-591>
- PORDATA. (15 de março de 2022). *PORDATA*. Obtido de Estatísticas, Gráficos e indicadores de Municípios, Portugal e Europa: [https://www.pordata.pt/Portugal/Alojamentos+servidos+por+sistemas+p%C3%bablicos+de+abastecimento+de+%C3%A1gua++sistemas+de+drenagem+de+%C3%A1guas+residuais+e+esta%C3%A7%C3%B5es+de+tratamento+de+%C3%A1guas+residuais+\(ETAR\)+\(percentagem\)-1187](https://www.pordata.pt/Portugal/Alojamentos+servidos+por+sistemas+p%C3%bablicos+de+abastecimento+de+%C3%A1gua++sistemas+de+drenagem+de+%C3%A1guas+residuais+e+esta%C3%A7%C3%B5es+de+tratamento+de+%C3%A1guas+residuais+(ETAR)+(percentagem)-1187)
- Portela, M. M. (2006). *Estimação de precipitações em bacias hidrográficas de Portugal continental*. Lisboa: IST.
- Portela, M. M., & Hora, G. R. (2002). Aplicação da fórmula racional à análise de cheias em Portugal Continental: valores do coeficiente C. 6º Congresso da Água, (p. 19). Porto.
- Regenerative Design. (28 de março de 2022). Obtido de Regenerative Design. World: https://regenerativedesign.world/benthemplein/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=benthemplein
- Rossman, L. (2010). *SWMM 5.0. - Manual do Usuário*. Cincinnati, EUA.
- Rotterdam Innovation City. (28 de março de 2022). Obtido de Rotterdam. Innovation City: <https://www.rotterdaminnovationcity.com/News/water-squares/>
- Silva, D. S. (2019). *Contributo para uma estratégia de ordenamento, promoção e valorização do solo rústico de Matosinhos*. Porto: FCUP.
- Tentúgal Valente, J. (setembro de 2020). Unidade Curricular de Hidráulica Urbana e Ambiental - Texto 1. *Textos pedagógicos, no âmbito da Unidade Curricular de Hidráulica Urbana e Ambiental*. Porto: FEUP.
- Tentúgal Valente, J. (2021). *Sistemas de Drenagem Urbana. Textos pedagógicos, no âmbito da Unidade Curricular de Sistemas de Drenagem Urbana*. Porto: FEUP.
- Tentúgal Valente, J., Figueiredo, M. P., & Avillez-Valente, P. (2020). Dimensionamento de coletores. *Textos pedagógicos, no âmbito da Unidade Curricular de Hidráulica Urbana e Ambiental*. Porto: FEUP.
- Trapote Jaume, A., & Rodríguez, H. (2016). *Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible*. Alicante.

União de Freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora. (2017). Obtido de <https://www.uf-smish.pt/sao-mamede-de-infesta/>

Woods-Ballard, B, R, K., P, M., C, J., R, B., & P, S. (2007). *The SuDS Manual*. Londres: Ciria.

ANEXOS

ANEXO A

RESULTADOS OBTIDOS NO CÁLCULO HIDRÁULICO DA REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Quadro 1 - Resultados obtidos no cálculo hidráulico da rede de drenagem de águas pluviais

Coletor	L (m)	Cotas a Montante			Cotas a Jusante			Inclinações (%)		C (-)	A (m²)	Caudal (L/s)	Diâmetro (m)
		Terreno (m)	h (m)	Soleira (m)	Terreno (m)	h (m)	Soleira (m)	Terreno	Coletor				Nominal
T1	19.000	97.600	1.250	96.350	97.450	1.250	96.200	0.008	0.008	0.750	982.606	16.809	0.250
T2	38.000	97.450	1.250	96.200	97.150	1.315	95.835	0.008	0.010	0.750	945.622	16.177	0.250
T3	40.000	97.150	1.315	95.835	96.760	1.315	95.445	0.010	0.010	0.750	2130.944	36.454	0.315
T4	35.000	96.760	1.315	95.445	93.720	1.315	92.405	0.087	0.087	0.750	245.369	4.198	0.315
T5	35.000	93.720	1.315	92.405	91.740	1.315	90.425	0.057	0.057	0.800	1302.786	23.773	0.315
T6	15.000	91.740	1.315	90.425	91.000	1.315	89.685	0.049	0.049	0.800	1992.844	36.364	0.315
T7	53.000	91.000	1.315	89.685	88.260	1.315	86.945	0.052	0.052	0.800	433.036	7.902	0.315
T8	37.000	88.260	1.315	86.945	86.500	1.315	85.185	0.048	0.048	0.700	2390.512	38.168	0.315
T9	40.000	86.500	1.315	85.185	84.600	1.400	83.200	0.048	0.050	0.750	2453.498	41.972	0.315
T10	57.000	84.600	1.400	83.200	81.730	1.500	80.230	0.050	0.052	0.750	2635.504	45.086	0.400
T11	40.000	81.730	1.500	80.230	81.100	1.500	79.600	0.016	0.016	0.750	1099.510	18.809	0.500
T12	35.000	81.100	1.500	79.600	82.440	1.400	81.040	0.038	0.041	0.750	745.539	12.754	0.400
T13	34.000	82.440	1.400	81.040	84.400	1.400	83.000	0.058	0.058	0.750	1078.009	18.442	0.400
T14	55.000	84.400	1.400	83.000	86.870	1.400	85.470	0.045	0.045	0.750	1687.518	28.868	0.400
T15	25.000	86.870	1.400	85.470	88.080	1.315	86.765	0.048	0.052	0.800	806.098	14.709	0.400
T16	20.000	88.080	1.315	86.765	89.950	1.315	88.635	0.094	0.094	0.750	735.972	12.590	0.315

T17	43.000	89.950	1.315	88.635	94.050	1.315	92.735	0.095	0.095	0.750	1850.513	31.657	0.315
T18	23.000	94.050	1.315	92.735	95.480	1.400	94.080	0.062	0.058	0.800	619.751	11.309	0.315
T19	34.000	95.480	1.400	94.080	96.870	1.315	95.555	0.041	0.043	0.750	1144.306	19.576	0.400
T20	17.000	96.870	1.315	95.555	97.340	1.315	96.025	0.028	0.028	0.750	469.551	8.033	0.315
T21	38.000	97.340	1.315	96.025	98.700	1.315	97.385	0.036	0.036	0.750	2076.767	35.527	0.315
T22	60.000	98.700	1.315	97.385	99.300	1.315	97.985	0.010	0.010	0.750	1502.704	25.707	0.315
T23	24.000	99.300	1.315	97.985	99.500	1.315	98.185	0.008	0.008	0.750	347.120	5.938	0.315
T24	18.000	99.500	1.315	98.185	99.630	1.315	98.315	0.007	0.007	0.750	439.503	7.519	0.315
T25	21.000	99.630	1.315	98.315	99.900	1.400	98.500	0.013	0.009	0.750	146.820	2.512	0.315
T33	55.000	100.200	1.200	99.000	99.550	1.200	98.350	0.012	0.012	0.750	910.794	15.581	0.200
T34	30.000	99.550	1.200	98.350	99.230	1.315	97.915	0.011	0.014	0.750	562.949	9.630	0.200
T35	40.000	99.630	1.315	98.315	99.400	1.315	98.085	0.006	0.006	0.750	1673.443	28.628	0.315
T36	15.000	99.400	1.315	98.085	99.230	1.315	97.915	0.011	0.011	0.700	171.176	2.733	0.200
T37	60.000	99.230	1.315	97.915	98.100	1.250	96.850	0.019	0.018	0.750	1351.614	23.122	0.250
T38	42.000	98.100	1.250	96.850	98.780	1.200	97.580	0.016	0.017	0.400	1995.295	18.205	0.200
T39	24.000	98.100	1.250	96.850	97.750	1.250	96.500	0.015	0.015	0.750	737.415	12.615	0.250
T87	26.000	97.750	1.250	96.500	97.340	1.250	96.090	0.016	0.016	0.750	2172.192	37.160	0.250
T40	29.000	97.340	1.250	96.090	96.870	1.315	95.555	0.016	0.018	0.750	902.224	15.434	0.315
T26	50.000	99.900	1.400	98.500	100.100	1.400	98.700	0.004	0.004	0.750	903.988	15.465	0.400
T27	45.000	100.100	1.400	98.700	100.600	1.315	99.285	0.011	0.013	0.750	1142.701	19.548	0.315
T28	40.000	100.600	1.315	99.285	100.730	1.315	99.415	0.003	0.003	0.750	1216.378	20.809	0.315

Redes de Drenagem de Águas Pluviais – Bacias de Retenção – Modelação de um Caso de Estudo

T29	58.000	100.730	1.315	99.415	101.600	1.250	100.350	0.015	0.016	0.750	1450.968	24.822	0.250
T30	60.000	101.600	1.250	100.350	102.500	1.250	101.250	0.015	0.015	0.750	1977.305	33.826	0.250
T31	24.000	102.500	1.250	101.250	102.860	1.200	101.660	0.015	0.017	0.750	503.435	8.612	0.200
T32	31.000	100.700	1.000	99.700	100.600	1.000	99.600	0.003	0.003	0.750	2468.055	42.221	0.400
T41	30.000	102.960	1.200	101.760	102.770	1.200	101.570	0.006	0.006	0.750	704.652	12.054	0.200
T42	32.000	102.770	1.200	101.570	102.430	1.250	101.180	0.011	0.012	0.750	1304.475	22.316	0.250
T43	60.000	102.430	1.250	101.180	101.560	1.315	100.245	0.015	0.016	0.750	2454.518	41.989	0.315
T44	60.000	101.560	1.315	100.245	101.360	1.315	100.045	0.003	0.003	0.750	1696.408	29.020	0.315
T45	52.000	101.360	1.315	100.045	101.200	1.315	99.885	0.003	0.003	0.750	1706.316	29.190	0.315
T46	60.000	101.200	1.315	99.885	100.700	1.315	99.385	0.008	0.008	0.750	1417.546	24.250	0.315
T47	32.000	100.700	1.315	99.385	100.520	1.400	99.120	0.006	0.008	0.750	811.649	13.885	0.400
T48	10.000	100.520	1.400	99.120	100.070	1.250	98.820	0.045	0.030	0.750	241.735	4.135	0.250
T49	31.000	100.070	1.250	98.820	99.180	1.250	97.930	0.029	0.029	0.750	237.342	4.060	0.250
T50	55.000	99.180	1.250	97.930	95.730	1.250	94.480	0.063	0.063	0.750	1616.655	27.656	0.250
T51	60.000	95.730	1.250	94.480	94.170	1.315	92.855	0.026	0.027	0.750	1942.633	33.233	0.315
T52	14.000	94.170	1.315	92.855	93.720	1.315	92.405	0.032	0.032	0.750	393.254	6.727	0.315
T73	14.000	94.170	1.315	92.855	94.900	1.250	93.650	0.052	0.057	0.800	229.032	4.179	0.200
T72	15.000	94.900	1.250	93.650	96.050	1.200	94.850	0.077	0.080	0.800	154.449	2.818	0.250
T71	19.000	96.050	1.200	94.850	95.000	1.200	93.800	0.055	0.055	0.800	148.415	2.708	0.200
T70	32.000	94.900	1.000	93.900	97.320	1.000	96.320	0.076	0.076	0.800	159.590	2.912	0.200
T68	30.000	97.320	1.200	96.120	98.100	1.200	96.900	0.026	0.026	0.800	161.227	2.942	0.200

T69	31.000	95.000	1.200	93.800	97.480	1.200	96.280	0.080	0.080	0.800	173.833	3.172	0.200
T66	30.000	97.480	1.200	96.280	98.300	1.200	97.100	0.027	0.027	0.800	161.283	2.943	0.200
T67	11.000	98.300	1.200	97.100	98.100	1.200	96.900	0.018	0.018	0.800	77.985	1.423	0.200
T65	44.000	96.050	1.200	94.850	98.180	1.200	96.980	0.048	0.048	0.800	262.227	4.785	0.200
T63	17.000	98.180	1.200	96.980	98.780	1.200	97.580	0.035	0.035	0.800	66.108	1.206	0.200
T64	11.000	98.700	1.200	97.500	98.300	1.200	97.100	0.036	0.036	0.800	73.951	1.349	0.200
T61	33.000	98.180	1.200	96.980	98.350	1.200	97.150	0.005	0.005	0.800	369.693	6.746	0.200
T58	42.000	98.350	1.200	97.150	98.700	1.200	97.500	0.008	0.008	0.750	227.291	3.888	0.200
T57	15.000	98.700	1.200	97.500	99.000	1.200	97.800	0.020	0.020	0.750	150.978	2.583	0.200
T56	16.000	99.000	1.200	97.800	99.410	1.200	98.210	0.026	0.026	0.750	254.044	4.346	0.200
T55	16.000	99.410	1.200	98.210	99.910	1.200	98.710	0.031	0.031	0.750	274.767	4.700	0.200
T54	45.000	99.910	1.200	98.710	100.700	1.200	99.500	0.018	0.018	0.750	336.720	5.760	0.200
T53	8.000	101.060	1.200	99.860	100.700	1.200	99.500	0.045	0.045	0.750	45.814	0.784	0.200
T62	20.000	98.780	1.200	97.580	100.540	1.200	99.340	0.088	0.088	0.800	192.022	3.504	0.200
T60	48.000	100.540	1.200	99.340	101.300	1.200	100.100	0.016	0.016	0.750	353.363	6.045	0.200
T59	10.000	101.700	1.200	100.500	101.300	1.200	100.100	0.040	0.040	0.750	60.818	1.040	0.200
T74	40.000	93.710	1.200	92.510	92.840	1.200	91.640	0.022	0.022	0.800	704.854	12.862	0.200
T75	33.000	92.840	1.200	91.640	91.750	1.200	90.550	0.033	0.033	0.800	221.436	4.041	0.200
T76	44.000	91.750	1.200	90.550	88.530	1.200	87.330	0.073	0.073	0.800	333.310	6.082	0.200
T77	18.000	88.530	1.200	87.330	87.200	1.200	86.000	0.074	0.074	0.800	138.588	2.529	0.200
T78	33.000	87.200	1.200	86.000	85.760	1.200	84.560	0.044	0.044	0.750	243.553	4.166	0.200

Redes de Drenagem de Águas Pluviais – Bacias de Retenção – Modelação de um Caso de Estudo

T79	33.000	85.760	1.200	84.560	86.440	1.200	85.240	0.021	0.021	0.750	764.433	13.077	0.200
T80	20.000	86.440	1.200	85.240	87.800	1.200	86.600	0.068	0.068	0.750	636.465	10.888	0.200
T81	58.000	85.760	1.200	84.560	83.360	1.200	82.160	0.041	0.041	0.750	1296.615	22.181	0.200
T84	30.000	83.360	1.200	82.160	81.730	1.500	80.230	0.054	0.064	0.750	149.398	2.556	0.200
T83	30.000	84.870	1.200	83.670	83.600	1.250	82.350	0.042	0.044	0.750	996.379	17.045	0.200
T82	30.000	83.600	1.250	82.350	83.360	1.200	82.160	0.008	0.006	0.750	820.545	14.037	0.250
T85	30.000	87.490	1.200	86.290	84.500	1.200	83.300	0.100	0.100	0.750	1426.492	24.403	0.200
T86	30.000	84.500	1.200	83.300	82.440	1.400	81.040	0.069	0.075	0.750	173.615	2.970	0.200

ANEXO B

DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ERMESINDE, PARA O ANO HIDROLÓGICO DE 2020/2021

Quadro 2 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em outubro de 2020

Outubro 2020																											
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma
1	0	0	0.5	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1	0.8	2.1	0	2.1	4.8
2	0.9	0.4	0	1.3	3.6	0.7	0.5	0.2	0.1	0.1	0	0.4	0.2	0	0	0	0	0.1	0	0	1.1	0.5	0	0	0	3.6	10.1
3	0	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4
4	0	0	0.2	2.3	0.3	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	2.3	3
5	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.3	0.1	0	0.1	0	0	0	0.3	1.2
6	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	1.2	1.2	0.6	0.7	1	0.7	-	-	
28	0.3	0.1	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.3	0.7
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0.1	0.1	0	0.2	0.4

Quadro 3 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em novembro de 2020

Novembro 2020																											
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma
1	0.4	0.1	0	0	0.2	0.1	0	0	0.3	0	0.1	0.1	0.4	0.3	0	0.1	0.3	0	0.1	0	0.1	0.1	0	0	0	0.4	2.7
2	0	0	0	0	0	0.1	0	0.6	0	0.6	0.4	0.2	0.1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	3.5
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.2	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.3	2	2.4	2.3	0.5	0	0.3	0.3	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	2.4	9.1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0.1	0.4	0.7	0.2	0.2	0	0.7	0.4	0	0.4	0	0	0	0	0.7	3.8
8	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0.4	0	0	1.7	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	2.5
9	0	1.1	0.1	0	0	0.9	0.1	0.7	0.7	0.2	0	0	0	0	1.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	5.6
10	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3	0.3	1.1	0	1.2	0.1	0.1	0	0	9.5	0	9.5	12.9
15	3.7	0	0.4	0.8	1.1	0.3	0.1	0.9	0.1	0.1	2.8	1.2	0	0	0	2.4	0.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	3.7	14.5
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
17	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
18	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

23	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.9	0	6.9	7
25	8.6	6.8	0.8	1	0	0.2	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0.5	0.4	0.1	0.2	0.3	0	0.3	0.2	0	0	0	8.6	19.6	
26	0	0.1	0.4	0.4	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	2.1	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.1	1.7	0.4	0.6	0.7	0.8	0	1.7	4.8	
29	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	

Quadro 4 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em dezembro de 2020

Dezembro 2020																											
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	0.1	0.4	0.4	0.2	0.6	1	0.6	0	1.4	4.7
4	1.3	0.1	0.1	0.2	0.6	1.2	2.4	0.3	1.3	0.2	0.8	1.4	0.8	0.7	0.6	2.1	0.1	5.2	0	0	0	0.1	0	0	0	5.2	19.5
5	0.4	0.4	0	0.8	0.1	1.5	0.7	0.3	0	0	0.1	0.3	0	0.5	0.3	0.1	0.5	0.7	0.1	0.1	0.1	0	0.2	0.1	0	1.5	7.3
6	0.1	0.1	0.2	0	0.1	0.3	0.2	0	0.2	0.8	0.2	0.1	0	0	0	0.1	0	0.4	0	0.1	0	0.1	0.8	0	0	0.8	3.8
7	0	2.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0	0.2	0.2	0.4	0.8	0.1	1.9	0.3	0.8	0	0	0	0	0.3	0.2	0.3	1.1	0.8	0	2.1	10.1
8	1.6	2	0.9	0.6	0	0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.8	0.2	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0	2	7.3
9	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.6	1.4	3.6	3.4	0	3.6	9.6
10	2.5	2.1	2.5	0.9	2	0.6	0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.6	0.8	1.5	1.3	0.8	0.9	0.3	0.2	1	1.5	2.1	3.3	0.5	0	3.3	26.1
11	0.9	0	0.5	1.2	0.2	1.5	2	0.5	0.3	0.7	1.6	1.1	0.3	0.6	0.2	0.3	0.3	0	0	0.1	0	0	0	0	0	2	12.3
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0.1	0.2
13	0	0.1	0.3	0.2	0.3	0.2	0	0.1	0.9	0.5	0	0.6	0.6	0	0	0.1	0	0	0.7	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0.9	5.2
14	1	0.8	2.9	1.9	2.3	0.9	0.1	0	0.2	0.1	0	0.5	1.2	0.2	0.2	1.6	1.1	0.6	0.1	0	0.7	0	1.2	0	0	2.9	17.6
15	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0.2	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	1	1.1	0	1.1	2.9
16	0.7	0.7	0.6	0	0.1	0.7	4.7	4.3	4	1	1	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.7	18.2
17	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1	2.2	0.7	0	5.1	8
19	0.9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	1	0.8	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4.4
20	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.1	0.3	0.6	0.9	0.7	0	0.9	3.2
21	0.3	0.4	0.6	0.3	0.3	0.4	0	0.1	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0	0	0	0.6	3.6
22	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1

23	0	0	0	0	0	0.9	2	1.4	0.7	0.2	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5.3
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0.3	0.2	1.1	2.7	0	2.7	4.7	
28	0.6	0.3	0.6	0.8	0	0	0	0.2	0	0.1	0	0.7	0.1	0	0.4	0	2.2	0.4	1.7	0.5	0.7	0.9	0.9	0.2	0	2.2	11.3	
29	0.1	0.4	0.2	0.9	0.2	0.1	1.8	0.1	0	0	0.1	0	0	0.5	0.1	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8	5	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0.5	0.9	0	0.9	2.3
31	0.6	0.5	0.1	0.4	0.3	0.3	0.9	1	0	0.3	0.4	0	0.5	0.3	0.4	0	0	0.3	0	0.9	0.1	0.3	0.1	0	0	1	7.7	

Quadro 5 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em janeiro de 2021

Janeiro 2021																											
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma
1	0	0	0.1	0	0	0	0.3	0.2	1.2	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.7	0	0	0	0	0	1.2	2.7
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.8	0.8	0	0	0.8	1.9
4	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
18	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1.6	3.8	4.8	5.4	9.7	0.3	1.2	0.1	0.1	0.8	1.8	0.8	0	0.4	1.3	0.5	1.1	2.9	1.3	0.6	1.5	0	0.2	0.8	0	9.7	41
21	0.1	0	0.3	0.1	0.4	0.1	0.3	0	0	2.3	7	4.2	3	4	0.1	0	0	0.1	0.1	0	0.1	0	0.6	0.1	0	7	22.9
22	17.4	0.3	0	0	0	0	0	0	0.1	0	2.5	2	0.2	0	0	0	0	2	0	0	0	0.1	0	0	0	17.4	24.6

23	0	0	1.5	0	0	0	0	0	2.1	1.8	2.5	2	2.3	4	1.7	3.3	1.7	2.4	2.2	0	0	0	0	0	0	4	27.5
24	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.7	1.9	1.6	0.9	1.1	1	1.3	0	1.9	8.8
25	2.6	1.6	1	1.9	0.9	0.6	0	0.5	0.5	0.2	0.2	0.6	0.7	1.4	0.9	3.3	1.2	0.5	1	0.6	0.6	0	0.3	0.5	0	3.3	21.6
26	0.4	0.6	0.6	0.4	0.7	0.5	0.2	0.9	1.3	1.1	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	2.2	1.2	0.5	0.6	0.9	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1	2.2	16.5
27	0	0.1	0	0	0.1	0.3	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.3	0.7
28	0	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.3	0	0	0	0.3	1.5
29	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5	0.7	0.7	0.7	1.3	4.9	0	4.9	9.8
30	1	0.2	0	0	0	0	0.6	0.2	0.1	0.8	0	0.3	0	0.2	0	0.4	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	1	4
31	0	0.5	0.8	1.8	2.3	2.4	3.2	2	1.7	2.3	1	1	1.4	0.6	0.1	0.4	0.1	0.4	0.1	0.2	0.3	0	0	0	0	3.2	22.6

Quadro 6 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em fevereiro de 2021

Fevereiro 2021																											
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0.3	0	0.3	0.2	0.4	1	1.5	1.6	1	0.9	0.2	0.3	0.1	0	1.6	8
2	0.5	0	0	0.1	0.2	0.4	0.2	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0	0	1.1	1.7	2.2	1.7	1.9	4.6	3.9	1.4	0	4.6	20.2
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.9	0	0	0.1	0.1	0	0	1.9	2.7
4	0	0	4.6	4.8	2.6	0.3	2.3	0	0	0	0	1.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	15.8
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.1	0.6	1	0.4	0.3	0	0	1	2.7
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0.5	0.9	0.8	2.1	5.9	1.1	0.1	0.8	0	5.9	12.5
8	0	0.2	0	0.1	4.1	0.2	0.2	0	0	0	0.6	2.1	0.4	0.4	1.1	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.8	2.5	0	4.1	12.9
9	0.5	3.5	3.5	4	7.5	1.3	2.2	2.5	4.7	3.1	0	0	0.2	0	0	0	1.6	0.1	0	0	0.1	0.3	1.2	0.3	0	7.5	36.6
10	0	0.1	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0.3	0.3	0.5	0.8	0.3	0	0.8	2.7
11	0.4	0.1	0	0	0	0	0.2	0.5	0.6	0.7	0.3	0.4	0.3	1.4	1.6	0	0	0	0.2	3.1	6.6	1.1	3.8	0.4	0	6.6	21.7
12	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.7
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0.5	9.6	4.7	3.1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.6	18.4
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0.4	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.4	0.8
18	0.1	0	0	0	1.4	7.3	1.1	1	0	0.3	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.3	11.3
19	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0.2	0.8
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	1.9	1.4	1.4	1.6	5.3	1.5	2.2	5	2.2	4.9	2.3	3.3	3.3	2.6	3.2	0	5.3	42.5
21	5.5	2.6	1.6	2.4	1.6	1	1	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5	15.8
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0.3	0.3
25	0.8	2.8	1.1	0.5	0.2	0	0.5	1.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	2.8	8.3
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 7 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em março de 2021

Março 2021																											
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0.1	0.4	0.3	0.5	0.2	1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.7	0.5	0.6	0.3	0.1	0	0	0	1	5.7
12	0	0.1	1.3	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	1.6
13	0	0	0.1	0.1	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 8 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em abril de 2021

Abril 2021																											
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.3	1.7	0.6	0	0.1	0	0	0	2.9	0.1	0	0	2.9	6.1
2	0	0	0.2	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.7	0	0	0	0	2.7	3
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0.1	0	0.2	3.8	0.9	0.2	0.3	0.3	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	2.4	0	0	0	3.8	9.7
11	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0.1	0	0.4	2.5	2.3	0	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	5.5
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	1.4	0.3	0.2	1.2	0.2	3.8	0.1	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8	7.5
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.9	2.1	3.6	2.3	4.4	8.2	2.5	0.1	0	0	1.6	1.3	0	8.2	27.3
22	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	1	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro 9 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em maio de 2021

Maio 2021																											
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro 10 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em junho de 2021

Junho 2021																											
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma
1	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.2	0	0	0	1.2	1.3
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0	0.6	1.2
13	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	0.5
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.2	0	0	0	0.2	0.7	0.8	0.6	0.2	0.4	0.4	0	0	0.1	0	0	0.8	3.7
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3.7	5.2	1.1	0.5	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2	12.3
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.1
20	0	0.5	3.8	1.3	0.8	1.6	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	2.3	2.3	0.1	0	0	0	3.8	13.6
21	0.8	0	0	0.1	0.7	0.7	0	0	0.2	1.4	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	4.2
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 11 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em julho de 2021

Julho 2021																												
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1.3	2.1	0.1	0.1	0	0	0	2.1	4.1	
3	1.1	0.6	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	1.9	
4	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0.2	0.3	
5	0.2	0.1	0.1	0.2	1.2	0.8	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	1.1	0.9	0.7	0.7	0	1.2	6.7	
6	0.2	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	
20	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

23	0	0	0	0	0.2	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.5
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.4	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	2.4
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 12 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em agosto de 2021

Agosto 2021																											
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0	0.2	0.9
2	0.1	0	0.1	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.8
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 13 - Registo de precipitação horária (mm) na estação de Ermesinde, em setembro de 2021

Setembro 2021																											
Dia	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	Min.	Máx.	Soma
1	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	0.5	0	1.3	2
7	0.1	0	0	1.2	1.9	2.8	0.2	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	6.3
8	0	0	0.3	0	0.4	0.3	0	0.1	0	0	1.6	2	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	2	5.4
9	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.7	2.7	0.3	0	0	0	0	0	0	2.7	4.4
10	0	0	1	0	0.1	0	0	0	0	0	0.5	0.1	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	1	1.9
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0.2	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	1.1	4.7	0	0	0	0	0	4.7	7.6
14	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	38.1	4.1	0.8	0	0	0	0	0	0	38.1	46.6
15	0	0	0	0	0.3	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.4
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	1.1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.9	2.2	0.3	0	0	0.1	0	0	2.9	5.5
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0.1	1.8	18.4	4.6	2.6	4.2	22.1	10	0.1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22.1	64.4
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.6	0.2	0.2	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	1.6
28	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-