

# **Eficiência de Dispositivos de Interceção do Escoamento Superficial em Meio Urbano – Ligação à Modelação 1D**

**Mariana Chaves Santos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Civil**

Orientadora: Professora Doutora Filipa Maria Santos Ferreira

**Júri**

Presidente: Professor Doutor Rodrigo de Almada Cardoso Proença de Oliveira

Orientadora: Professora Doutora Filipa Maria Santos Ferreira

Vogal: Professor Doutor José Manuel de Saldanha Gonçalves Matos

**Maior 2021**



# DECLARAÇÃO

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.



# AGRADECIMENTOS

Será difícil colocar aqui os nomes de toda a gente a quem gostaria de agradecer pelo apoio dado no meu percurso académico, mas irei tentar.

Em primeiro lugar, quero agradecer à Professora Doutora Filipa Ferreira pelo apoio na dissertação, a qualquer dia da semana (incluindo fins de semana): O mesmo se aplica ao João Barreiro, que foi incansável e que perdeu imensas horas para me ajudar neste trabalho. Sem eles, esta dissertação definitivamente não existia.

Em segundo lugar, aos meus pais. Sem eles, nada disto não seria possível. Sei que abdicaram de muito na vida para que pudesse ter tudo o que tenho hoje. Não há sequer palavras que exprimam exatamente o que quero escrever. Obrigado do fundo do coração. Nesta categoria incluo também os meus segundos pais (os meus avós) que me criaram da mesma forma que os meus pais me criaram e que significam tudo para mim.

Depois terei que agradecer ao meu melhor amigo, o meu irmão, com quem vivi muito tempo da minha vida académica, que aturou todas as minhas epifanias e que me acompanhou toda a vida, e continuará a acompanhar. Muito obrigada por tudo.

Claro que não me poderei esquecer dos meus companheiros de curso: Ana Filipa, Cagica, Neves, Poim, David, Cris, entre outros. Gostaria muito de agradecer a todos eles (estes e os que não estão aqui porque era difícil). O Técnico é difícil, mas as amizades feitas neste instituto são definitivamente para a vida. A eles, agradeço do fundo do coração. Agradeço ainda à Inês, Joana e Ricardo, companheiros de infância que também me acompanharam na minha vida académica.

Agradeço ainda à CPMEC que foi o meu pequeno lar quando me afastei do meu verdadeiro lar.

Por fim, e não menos importante (de todo) agradeço ao meu namorado Fábio, que sofreu com esta tese (quase) tanto como eu sofri, que abdicou de dias de férias para me apoiar, que me apoiou mesmo quando estávamos afastados, quando chorava, quando ria, quando estava mal disposta. A ele, agradeço do fundo do coração.

Dedico a minha tese à minha família mais próxima (pais, avós e irmão) e ao meu namorado.



# RESUMO

A necessidade de melhorar o desempenho dos sistemas de drenagem é uma preocupação crescente nas grandes cidades.

Assim, a elaboração deste documento pretende contribuir para a otimização do desempenho de sistemas de drenagem pluvial em meio urbano, com especial ênfase no impacto que a eficiência hidráulica dos dispositivos intercetores tem nesta temática. Este tema surge do facto de, geralmente, serem componentes negligenciadas em contexto de planeamento urbanístico.

Tendo assim o objetivo definido, considerou-se que era necessário, em contexto prático, desenvolver uma ferramenta para o dimensionamento de dispositivos intercetores de águas pluviais, analisando desta forma a aplicabilidade de cada um e, também, alertando para a necessidade de ponderar a sua escolha.

De seguida, de forma a validar os valores obtidos pelos ábacos elaborados no ponto anterior, procedeu-se a campanhas experimentais no *campus* Alameda do Instituto Superior Técnico, tendo-se, posteriormente, feito uma avaliação crítica dos resultados obtidos.

Finalmente, foi feita uma análise do impacto da eficiência hidráulica na capacidade dos coletores existente na Rua de Santa Marta/ Rua de São José/ Rua das Portas de Santo Antão, recorrendo para tal à ferramenta de modelação 1D Storm Water Management Model (SWMM), com vista a obter metodologias que permitam, em estudos futuros, a introdução da eficiência destas componentes na modelação dinâmica de sistemas de drenagem.

## Palavras-chave

Dispositivos de intercepção; sistema de drenagem pluvial; SWMM; eficiência hidráulica; modelação hidráulica 1D.





# ABSTRACT

The need to improve the performance of drainage systems is a growing concern in large cities.

Thus, the preparation of this document aims to contribute to the optimization of the performance of storm drainage systems in urban areas, with special emphasis on the impact that the hydraulic efficiency of the intercepting devices. This theme arises from the fact that, generally, they are neglected components in the context of urban planning.

Having thus defined the objective, it was considered necessary, in a practical context, to develop a tool for sizing these devices, based on the efficiency values obtained for each type of device, thus analyzing the applicability of each one and also alerting to the need to consider their choice.

Next, to validate the values obtained by the abacuses elaborated in the previous section, experimental campaigns were carried in the Alameda campus of the Instituto Superior Técnico.

Finally, an analysis of the impact of hydraulic efficiency on the capacity of the sewers in Santa Marta St./ São José St./ Portas de Santo Antão St. was performed, using the 1D Storm Water Management Model (SWMM) tool, to obtain methodologies that allow, in future studies, the introduction of the efficiency of the stormwater gutters in the dynamic modelling of drainage systems.

## Keywords

Inlets; storm drainage system; SWMM; hydraulic efficiency; hydraulic 1D modelling.



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	ENQUADRAMENTO DO TEMA .....	1
1.2	OBJETIVO .....	1
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>2</b>	<b>ESTADO DE ARTE .....</b>	<b>3</b>
2.1	SISTEMAS DE DRENAGEM PLUVIAL EM MEIO URBANO .....	3
2.1.1	<i>Considerações iniciais.....</i>	3
2.1.2	<i>Evolução histórica da drenagem urbana.....</i>	3
2.1.3	<i>Tipos de sistemas de drenagem .....</i>	6
2.1.4	<i>Componentes dos sistemas de drenagem .....</i>	7
2.1.5	<i>Dispositivos de intercepção .....</i>	8
2.2	DIMENSIONAMENTO DE DISPOSITIVOS DE INTERSEÇÃO.....	12
2.2.1	<i>Considerações iniciais.....</i>	12
2.2.2	<i>Valetas.....</i>	16
2.2.3	<i>Sarjetas de passeio.....</i>	17
2.2.4	<i>Sumidouros.....</i>	20
2.2.5	<i>Combinação sumidouro e sarjeta.....</i>	23
2.3	MODELAÇÃO DINÂMICA DE COMPORTAMENTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA.....	24
2.3.1	<i>Considerações Iniciais.....</i>	24
2.3.2	<i>Modelos 1D .....</i>	26
2.3.3	<i>Modelação dual.....</i>	28
2.3.4	<i>Storm Water Management Model (SWMM).....</i>	30
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE CÁLCULO AUTOMÁTICO DA EFICIÊNCIA HIDRÁULICA DOS DISPOSITIVOS DE INTERSEÇÃO .....</b>	<b>33</b>
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	33
3.2	CONFIGURAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INTERCEÇÃO CONSIDERADOS E DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA DE CÁLCULO	34

3.2.1	<i>Sarjetas de passeio</i> .....	34
3.2.2	<i>Sumidouros simples e duplos</i> .....	36
3.2.3	<i>Combinação sumidouro e sarjeta</i> .....	39
3.3	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS, EM TERMOS DE ÁBACOS .....	41
3.3.1	<i>Notas Introdutórias</i> .....	41
3.3.2	<i>Sarjetas de passeio</i> .....	41
3.3.3	<i>Sumidouros</i> .....	42
3.3.4	<i>Combinação sumidouro e sarjeta</i> .....	46
3.4	CONSIDERAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS DISPOSITIVOS INTERCETORES EM MODELOS 1D E 2D .....	48
<b>4</b>	<b>CAMPANHAS EXPERIMENTAIS</b> .....	<b>51</b>
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	51
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	51
4.3	LEVANTAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE INTERSEÇÃO .....	52
4.4	CAMPANHAS .....	52
4.5	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	55
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO: RUA DE SANTA MARTA A RUA DAS PORTAS DE SANTO ANTÃO</b> .....	<b>59</b>
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	59
5.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	59
5.3	LEVANTAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE INTERSEÇÃO .....	60
5.4	MODELO SWMM .....	64
5.5	ANÁLISE DE RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM OS VALORES TEÓRICOS .....	67
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS</b> .....	<b>77</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>80</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>85</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação esquemática dos constituintes das sarjetas: a) sarjeta de lancil com vedação hidráulica, com câmara de retenção; b) sarjeta de lancil sem vedação hidráulica, sem câmara de retenção (adaptado de (IGPAI 1973)) .....	11
Figura 2.2 - Representação esquemática dos constituintes dos sumidouros de valeta com lancil: a) sumidouro de valeta com lancil com vedação hidráulica, com câmara de retenção; b) sumidouro de valeta com lancil sem vedação hidráulica, sem câmara de retenção (adaptado de (IGPAI 1973)) .....	11
Figura 2.3 - Representação esquemática dos constituintes dos sumidouros de valeta sem lancil: a) sumidouro de valeta sem lancil com vedação hidráulica, com câmara de retenção; b) sumidouro de valeta sem lancil sem vedação hidráulica, sem câmara de retenção (adaptado de (IGPAI 1973)) .....	12
Figura 2.4 - Representação esquemática de uma valeta com secção triangular ou sem depressão (Fonte: (Matos 2006)) .....	16
Figura 2.5 - Sarjeta sem depressão .....	18
Figura 2.6 - Representação esquemática de uma sarjeta com depressão (adaptado de (Wilken 1978)) .....	18
Figura 2.7 - Representação esquemática de um sumidouro sem depressão (adaptado de (Matos 2006)) .....	21
Figura 2.8 - Representação esquemática de um sumidouro com depressão (adaptado de (Matos 2006)) .....	23
Figura 2.9 - Combinação de sumidouro e sarjeta (Fonte: (ADS 2020)) .....	24
Figura 2.10 - Relação entre as diversas fases da modelação hidrológica e hidráulica (adaptado de (Mark et al. 2004)) .....	25
Figura 2.11 - Representação das diversas fases da modelação 1D (adaptado de (Mark et al. 2004)) .....	27
Figura 2.12 - Representação esquemática da fenda de Preissmann (adaptado de (Yen and Pansic 1980)) .....	27
Figura 2.13 - Soluções tradicionais em caso de sistema em sobrecarga: a) água que atinge a superfície perde-se; b) aumento da altura da água infinitamente; c) considerar reservatório virtual que armazena temporariamente a água que atinge a superfície (adaptado de (Marques et al. 2013)).....	28
Figura 2.14 - Abordagem tradicional das câmaras de visita em meio urbano (adaptado de (Maksimović and Prodanović 2001)) .....	28
Figura 2.15 - Representação esquemática do conceito de drenagem dual (adaptado de (Djordjević et al. 1999)).....	29
Figura 2.16 - Representação das diversas fases da modelação dual (adaptado de (Mark et al. 2004)) .....	30

Figura 2.17 - Representação conceptual da formação de escoamento superficial no modelo (adaptado de (Rossman 2015)).....	32
Figura 3.1 – Determinação da eficiência de um sumidouro simples sem depressão recorrendo à metodologia abordada no subcapítulo 2.3 .....	33
Figura 3.2 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sarjeta sem depressão .....	41
Figura 3.3 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sarjeta com depressão do tipo 1 .....	41
Figura 3.4 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sarjeta com depressão do tipo 2 .....	42
Figura 3.5- Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro sem depressão.....	43
Figura 3.6 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro com depressão .....	43
Figura 3.7 - Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro sem depressão com 50% de obstrução .....	44
Figura 3.8 - Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro com depressão com 50% de obstrução .....	44
Figura 3.9 - Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro duplo sem depressão .....	45
Figura 3.10 - Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro duplo com depressão .....	45
Figura 3.11 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica da combinação sumidouro e sarjeta sem depressão .....	46
Figura 3.12 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica da combinação sumidouro e sarjeta com depressão .....	46
Figura 3.13 -.Fluxograma de decisão de dispositivo de intercepção .....	48
Figura 3.14 - Consideração da eficiência dos dispositivos interceptores recorrendo à alteração dos hidrogramas de cheia das bacias.....	49
Figura 4.1 - Localização do Instituto Superior Técnico na cidade de Lisboa (adaptado de (Guerreiro et al. 2015)) e localização das áreas de estudo.....	51
Figura 4.2 - Localização dos dispositivos interceptores e hidrantes: a) na zona do pavilhão de Civil; b) na zona do pavilhão de Matemática.....	52
Figura 4.3 - Dispositivos utilizados na campanha: a) sumidouro 2 (Civil); b) sumidouro 5 (Civil); c) sumidouro 6 (Civil); d) sumidouro 5 (Matemática) .....	54
Figura 4.4 - Colocação das réguas a montante e jusante para a campanha relativa ao sumidouro 2 de Civil .....	54
Figura 4.5 - Fenómeno do espraçamento visível na campanha realizada a jusante do sumidouro 6 da zona de Civil .....	57

Figura 4.6 - Colocação de caleira e de objeto por forma a encaminhar o escoamento para o sumidouro .....	58
Figura 4.7 - Utensílio utilizado para medição da altura de escoamento .....	58
Figura 5.1- Zona de estudo: a) localização da bacia J na cidade de Lisboa; b) limitação da zona de estudo (a azul) bem como das bacias a analisar (adaptado de (Matos et al. 2018)) .....	59
Figura 5.2 - Distribuição espacial dos dispositivos intercetores e obtenção das sub-bacias resultantes da divisão das bacias existentes .....	60
Figura 5.3 – Exemplo de levantamento dos dispositivos intercetores, bem como das variáveis necessárias para a determinação da sua eficiência .....	61
Figura 5.4 – Hietogramas de precipitação para o período de retorno de 10 (esquerda) e 2 anos (direita) utilizados no modelo em análise .....	65
Figura 5.5 - Metodologia utilizada para introdução da variável das eficiências dos dispositivos de entrada no caso de estudo .....	65
Figura 5.6 - Ilustração da metodologia utilizada para cálculo do caudal transportado pelo coletor após consideração da eficiência dos dispositivos intercetores.....	66
Figura 5.7 - Exemplo de estado de conservação de sarjeta encontrada no local de estudo .....	67
Figura 5.8 - Perfil longitudinal do coletor analisado no caso de estudo antes da consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos intercetores para um período de retorno de 2 anos.....	68
Figura 5.9 - Perfil longitudinal entre o nó JN239H e JN239Q antes da consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos para um período de retorno de 2 anos.....	69
Figura 5.10 - Perfil longitudinal entre o nó JN239T e JN239ZA antes da consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos para um período de retorno de 2 anos.....	69
Figura 5.11 - Perfil longitudinal do coletor analisado no caso de estudo após consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos intercetores para um período de retorno de 2 anos.....	69
Figura 5.12 - Perfil longitudinal entre o nó JN239H e JN239Q após consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos para um período de retorno de 2 anos .....	69
Figura 5.13 - Perfil longitudinal entre o nó JN239T e JN239ZA após consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos para um período de retorno de 2 anos.....	70
Figura 5.14 - Perfil longitudinal do coletor analisado no caso de estudo antes da consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos intercetores para um período de retorno de 10 anos.....	71
Figura 5.15 - Perfil longitudinal entre o nó JN239H e JN239Q antes da consideração da eficiência dos dispositivos intercetores para um período de retorno de 10 anos .....	71
Figura 5.16 - Perfil longitudinal entre o nó JN239T e JN239ZA antes da consideração da eficiência dos dispositivos intercetores para um período de retorno de 10 anos .....	72

Figura 5.17 - Perfil longitudinal do coletor analisado no caso de estudo após consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos interceptores para um período de retorno de 10 anos.....	72
Figura 5.18 - Perfil longitudinal entre o nó JN239H e JN239Q após consideração da eficiência dos dispositivos interceptores para um período de retorno de 10 anos .....	72
Figura 5.19 - Perfil longitudinal entre o nó JN239T e JN239ZA após consideração da eficiência dos dispositivos interceptores para um período de retorno de 10 anos .....	73
Figura 5.20 - Perfil longitudinal do coletor analisado para a situação otimizada do caso para um período de retorno de 10 anos .....	74
Figura 5.21 - Perfil longitudinal entre o nó JN23H e JN239Q para a situação otimizada para um período de retorno de 10 anos .....	74
Figura 5.22 - Perfil longitudinal entre o nó JN23T e JN239ZA para a situação otimizada para um período de retorno de 10 anos .....	74
Figura 5.23- Direcionamento do escoamento pluvial predial para o escoamento superficial no caso de estudo .....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Principais vantagens e desvantagens dos sistemas separativos convencionais, não convencionais e unitários (Matos 2006).....	6
Tabela 2.2 - Tempo de entrada em bacias urbanas, em minutos. Fonte: (Martins 2016; Sousa and Matos n.d.).....	15
Tabela 3.1 - Matriz eficiência de sarjeta de lancil sem depressão .....	35
Tabela 3.2 - Matriz de eficiência de sarjeta de lancil com depressão .....	36
Tabela 3.3 - Matriz de eficiência de sumidouro simples sem depressão .....	37
Tabela 3.4 - Matriz de eficiência de sumidouro simples com depressão .....	38
Tabela 3.5 – Matriz de eficiência de sumidouro duplo sem depressão .....	38
Tabela 3.6 - Matriz de eficiência de sumidouro duplo com depressão .....	39
Tabela 3.7 - Matriz de eficiência de combinação sumidouro e sarjeta sem depressão .....	40
Tabela 3.8 - Matriz de eficiência de combinação sumidouro e sarjeta com depressão .....	40
Tabela 4.1 - Características geométricas dos dispositivos interceptores utilizados na campanha .....	53
Tabela 4.2 - Variáveis necessárias para a determinação das eficiências registadas na primeira campanha.....	55



Tabela 4.3 - Variáveis necessárias para a determinação das eficiências registradas na segunda campanha.....	55
Tabela 4.4 - Eficiências dos dispositivos obtidas a partir das medições retiradas na primeira campanha .....	56
Tabela 4.5 - Resultados obtidos com a segunda campanha realizada .....	58
Tabela 5.1 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 58EE .....	61
Tabela 5.2 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 57EST.....	61
Tabela 5.3 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 58DE .....	62
Tabela 5.4 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 58EST.....	62
Tabela 5.5 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 59EST.....	62
Tabela 5.6 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 59EE .....	63
Tabela 5.7 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 60EE .....	63
Tabela 5.8 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 60EST.....	63
Tabela 5.9 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 61EE .....	63
Tabela 5.10 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 61EST.....	64
Tabela 5.11 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 64EE .....	64
Tabela 5.12 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 64EST.....	64



## LISTA DE ABREVIATURAS

DR 23/95	Decreto Regulamentar n.º 23/95 (1995)
EPA	Environmental Protection Agency
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
IDF	Intensidade-duração-frequência
IST	Instituto Superior Técnico
NP 676:1975	Norma Portuguesa 676:1975 – “Redes de Esgoto; Sarjetas; Tipos, características e condições de emprego
SWMM	Storm Water Management Model

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da bacia hidrográfica [ha]
a	Parâmetros que depende da região pluviométrica e do período de retorno
$A_0$	Área de secção molhada [m <sup>2</sup> ]
$A_i$	Área das várias secções de uma bacia hidrográfica [m <sup>2</sup> ]
$a_s$	Altura da depressão na extremidade de montante da abertura da sarjeta [m]
$A_{\text{secção}}$	Área da secção em análise [m <sup>2</sup> ]
$A_{y_d}$	Área da secção de escoamento correspondente à altura $y_d$ , no caso de existir depressão [m <sup>2</sup> ]
$A_{y_0}$	Área da secção de escoamento correspondente à altura do regime uniforme $y_0$ [m <sup>2</sup> ]
b	Parâmetro que depende da região pluviométrica e do período de retorno
B	Somatório da largura da grelha do sumidouro com a distância entre a primeira abertura da grelha e o lancil do passeio [m]
$B_1$	Largura da depressão em planta de uma sarjeta com depressão [m]
$b_s$	Altura da depressão na extremidade de jusante da abertura da sarjeta [m]
C	Coefficiente do método racional ou de escoamento
$C_i$	Valor de coeficiente do método racional ou de escoamento para a área $A_i$ em estudo
d	Distância entre o lancil e a primeira abertura da grelha do sumidouro [m]
$E_{\text{hidráulica}}$	Eficiência hidráulica
g	Aceleração da gravidade [m/s <sup>2</sup> ]
h	Altura de escoamento [m]
I	Intensidade média de precipitação [m <sup>3</sup> /(ha.s)]
i	Declive longitudinal da valeta [m/m]
$i_{\text{bacia}}$	Inclinação média da bacia [m/m]
J	Perda de carga

K	Constante empírica que tem em conta a inclinação transversal do arruamento
L	Comprimento da boca da sarjeta [m]
L'	Comprimento crítico da grelha do sumidouro [m]
L <sub>0</sub>	Comprimento necessário para a captação do caudal que passa sobre a grelha [m]
L <sub>1</sub>	Comprimento do troço a montante da depressão [m]
L <sub>2</sub>	Comprimento do troço a jusante da depressão [m]
L <sub>grade</sub>	Comprimento da grade [m]
m	Constante empírica que depende do número de barras transversais da grelha do sumidouro
n	Coefficiente de rugosidade de Manning [m <sup>-1/3</sup> s]
Q	Caudal [m <sup>3</sup> /s]
q	Somatório das parcelas do escoamento não captadas [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>0</sub>	Caudal afluyente [m <sup>3</sup> /s]
q <sub>1</sub>	Escoamento entre a primeira abertura da grade e o passeio [m <sup>3</sup> /s]
q <sub>2</sub>	Escoamento exterior à grade, pelo arruamento [m <sup>3</sup> /s]
q <sub>3</sub>	Escoamento sobre a própria grade, o qual prosseguirá para jusante [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>captado</sub>	Caudal captado [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>p</sub>	Caudal de ponta [m <sup>3</sup> /s]
R	Raio hidráulico [m]
t <sub>p</sub>	Tempo de precipitação [minutos]
V	Velocidade média de escoamento na mesma secção que se considera a altura de escoamento y <sub>d</sub> [m/s]
V <sub>0</sub>	Velocidade de escoamento superficial [m/s]
y'	Altura crítica de escoamento [m]
y <sub>0</sub>	Altura uniforme de escoamento a montante do dispositivo intercetor em análise [m]
y <sub>d</sub>	Altura de escoamento considerando a existência de depressão, imediatamente a montante da abertura [m]

$\Theta$	Ângulo que o plano do pavimento na depressão forma com o plano vertical ou com o lancil [graus]
$\Theta_0$	Ângulo que o plano do arruamento forma com o plano vertical ou com o lancil [graus]







# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento do tema

As alterações climáticas constituem um problema da atualidade e a sociedade, para além de estar cada vez mais consciente do problema, está cada vez mais empenhada em resolver a situação e mitigar/diminuir o seu impacto. O estudo do impacto dos fenómenos de cheia e do desempenho de diversos sistemas de drenagem urbana cresce de importância quando abordamos a problemática na cidade de Lisboa. Como é sabido, existem determinados locais referenciados como suscetíveis a inundações, tais como a zona ribeirinha e a Baixa, entre outros.

No contexto urbano, a prevenção de fenómenos de cheias passa, não só, mas também pelo correto dimensionamento das redes de drenagem urbana, bem como pelo correto funcionamento durante o seu período útil de vida. Nesta temática surgem os dispositivos de interceção, os quais desempenham um papel fundamental na eficiência destes sistemas e que, em contexto de dimensionamento, são muitas vezes colocados em segundo plano ou mesmo negligenciados. Para tal, existem metodologias de cálculo que poderão ser utilizadas por forma a colmatar esta falha.

O dimensionamento dos dispositivos de interceção tem como objetivo a obtenção de eficiências satisfatórias, que poderão ser atingidas através da correta implementação, dimensão e tipologia, que dependerão de diversos fatores do projeto: características topográficas, uso do solo, área impermeável, intensidade de precipitação, entre outros. Em contexto de projeto, é possível utilizar, como ferramenta de apoio, a modelação de sistemas de drenagem urbana, que poderá ser feita recorrendo a vários *softwares*. No entanto, em Portugal, é usual, neste âmbito, recorrer ao Storm Water Management Model (SWMM), pelo facto de ser uma plataforma *open source* e de proporcionar resultados satisfatórios e com relativa rapidez ao utilizador. No entanto, tal como todos os programas com este fim, apresenta lacunas, salientando-se, nesta dissertação, o facto de não contabilizar de forma realista a eficiência dos dispositivos de entrada na modelação de sistemas de drenagem.

Assim, tendo como tema o aprofundamento da questão da capacidade dos dispositivos interceptores, surge esta dissertação.

## 1.2 Objetivo

Tendo em mente os tópicos referidos no enquadramento do tema, será feita, nesta dissertação, uma análise à eficiência dos diversos dispositivos de interceção num sistema de drenagem urbana, tendo em conta a sua tipologia, o caudal afluente, e características inerentes ao local de implantação: características geométricas da valeta, inclinação longitudinal do arruamento, entre outras. Neste sentido, recorreu-se à avaliação dos valores obtidos pela metodologia de cálculo abordada nesta dissertação e à realização de campanhas experimentais, por forma a validar, ou não, os valores obtidos por esta metodologia.

Por outro lado, o impacto da contabilização das eficiências obtidas pelos métodos acima descritos na modelação, pelo facto de ser consensual o recurso a este instrumento no que toca à avaliação do funcionamento de sistemas de drenagem, constitui um outro objetivo desta dissertação, por serem escassos os estudos elaborados sobre esta matéria. Assim, tendo em conta os tópicos acima abordados, este documento pretende contribuir para:

- otimização de redes de drenagem pluvial urbana, no âmbito da interferência dos dispositivos de interceção na eficiência global do sistema, com recurso a metodologias de cálculo e a instrumentos de modelação;
- análise de fatores que interferem na eficiência hidráulica dos dispositivos de interceção, bem como o grau de interferência destes mesmos fatores;
- avaliação de fenómenos inerentes ao escoamento superficial e à sua captação, em contexto prático.

Neste sentido, o presente documento foi repartido por forma a obter resultados que visem contribuir para o aumento do conhecimento sobre os assuntos apresentados neste subcapítulo.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

Para além do presente capítulo introdutório, este documento será ainda composto pelo capítulo 2, referente ao Estado de Arte, onde se fará uma breve abordagem à evolução histórica da drenagem urbana, bem como os tipos de sistemas de drenagem existentes, características e componentes, enfatizando os dispositivos de interceção. Será ainda abordado neste capítulo o dimensionamento de dispositivos de interceção, dos quais se destacam as valetas (pelo impacto que apresentam na eficiência destes mesmos dispositivos), sarjetas, sumidouros e combinação sumidouro e sarjeta. Por fim, será feita uma abordagem da modelação dinâmica do comportamento de sistemas de drenagem urbana, com ênfase no *software* Storm Water Management Model (SWMM).

No capítulo 3 será aprofundado o tema relativo à metodologia de cálculo para obtenção da eficiência hidráulica dos dispositivos interceptores, à avaliação dos resultados obtidos e à consideração dessas eficiências em modelos 1D e 2D.

No capítulo 4 serão abordadas as campanhas experimentais realizadas no Instituto Superior Técnico (IST) com vista à validação dos resultados obtidos no capítulo anterior. No capítulo 5 procedeu-se à aplicação da ferramenta ao caso de estudo Rua de Santa Marta/ Rua de São José/ Rua das Portas de Santo Antão, permitindo verificar as implicações da consideração dos resultados obtidos na ferramenta de cálculo num modelo dinâmico para várias situações, recorrendo para tal ao *software* SWMM.

Por fim, no capítulo 6, serão abordadas as conclusões obtidas neste estudo, bem como a sua implicação em sistemas de drenagem pluvial, e ainda sugestões de possíveis estudos futuros.

## 2 ESTADO DE ARTE

### 2.1 Sistemas de Drenagem Pluvial em Meio Urbano

#### 2.1.1 Considerações iniciais

No presente capítulo pretende-se abordar o funcionamento dos sistemas de drenagem em meio urbano. Para tal, será abordada, na secção 2.1.2. a temática da evolução histórica da drenagem no mundo e em Portugal, com destaque na cidade de Lisboa, seguindo-se, nas secções 2.1.3 e 2.1.4, respetivamente, os tipos de sistema de drenagem e componentes envolvidas nos mesmos, com ênfase nos dispositivos de interceção (secção 2.1.5). Mencione-se que o capítulo 2.1.2 tem como principal fonte bibliográfica o livro “Ambiente e Saneamento – Sistemas de Drenagem Urbana” e o documento “Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas residuais em Meio Urbano”, enquanto o capítulo 2.1.3. é largamente baseado no primeiro. O subcapítulo 2.2 é baseado no documento “Projecto de Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais” e tem como objetivo a apresentação das equações que permitem obter a eficiência hidráulica dos diversos dispositivos interceptores analisados neste documento. No subcapítulo 2.3 será analisada a temática da modelação de sistemas de drenagem urbana, com ênfase na modelação recorrendo ao *software* Storm Water Management Model (SWMM).

#### 2.1.2 Evolução histórica da drenagem urbana

Nos dias que decorrem, a necessidade de planeamento, construção e manutenção de infraestruturas dedicadas à drenagem urbana é consensual na comunidade científica e na população, não só por questões de comodidade, como também por questões de saúde pública. No entanto, nem sempre foi assim, uma vez que o conhecimento nesta matéria era escasso, tornando a sua implementação bastante tardia (Idade Média), havendo, porém, exemplos pontuais de antigas civilizações que executaram infraestruturas com esse objetivo (Matos 2006), destacando-se a existência de drenagem em arruamentos e a condução de águas negras para fora dos aglomerados populacionais no aglomerado Mohengo-Doro (Matos 2006; Webster 1962); exemplos de drenagem referentes à civilização Minoica, com especial atenção aos materiais a utilizar neste tipo de infraestruturas (Gray 1940), à descarga de águas prejudiciais à população num local distante da urbe (Burian et al. 1999) e ainda a de garantir a limpeza destes dispositivos com recurso à precipitação (Kirby et al. 1990). Os relatos dos primeiros sistemas separativos datam de 1000 a.C., em Jerusalém (Burian et al. 1999). Há ainda registos de sistemas de drenagem de águas residuais enterrados por volta de 200 a.C. executados pela civilização Chinesa.(Matos 2003). Por fim, e ainda nesta temática, salienta-se a criação da intitulada *Cloaca Máxima* de Roma, que constitui um dos mais antigos sistemas de drenagem de águas residuais (Matos 2003). A sua designação provém do termo “cloaca” que significa “condutor de drenagem urbana” (Matos et al. 2008). Existem ainda relatos da implementação de

sarjetas e passeios elevados, permitindo assim o escoamento superficial e uma melhoria da qualidade de vida dessas populações (Burian et al. 1999).

No entanto, a evolução dos sistemas de drenagem urbanos não foi explicada pelo facto de haver pouca consciência dos perigos que a omissão destes sistemas tinha na saúde das populações e na sua contribuição para a proliferação de doenças. Uma prova desta realidade é o facto de, na Europa, os primeiros registos da evacuação de “águas pestilentas” serem datados entre os séculos XVI e XVIII. Um destes exemplos é o da execução da primeira vala coberta (coletor enterrado), em 1370, em Paris, que encaminhava os efluentes para o rio Sena. Importa referir que o conceito de coletor enterrado só foi banalizado mais tarde, uma vez que, até ao século XVIII, grande parte da drenagem nesta e noutras cidade era ainda assegurada por “valas abertas de esgoto” (Matos 2003).

No início do século XIX começam a surgir os primeiros avanços no setor da drenagem, através da introdução das primeiras redes com o intuito de assegurar o abastecimento de água aos domicílios. Para tal, recorreu-se a tubagem de ferro fundido sob pressão e de betão nos coletores circulares, facto que advém da consciencialização por parte da comunidade científica da importância da autolimpeza e do declive (Matos 2003). Assim, neste âmbito e com base em resultados experimentais, na década de 1840, é estabelecido o critério de velocidade mínima do escoamento nas condutas de 0,6 a 0,9 m/s (Matos 2003; Metcalf and Eddy 1928); surgem também os primeiros planos gerais de drenagem de águas residuais unitários na Alemanha e, poucos anos depois, nos Estados Unidos da América. A implementação dos primeiros sistemas separativos foram, também, em cidades americanas (Matos 2003).

Na verdade, a implementação dos primeiros sistemas separativos coincide com o início da discussão na comunidade científica da utilização deste tipo de sistemas, em detrimento do sistema unitário. Neste âmbito, foram realizados vários estudos, de onde se concluiu que a escolha do tipo de sistema de drenagem deve ter em conta a avaliação das condições da zona e os fatores económicos; assim, sugeriu-se que se devia optar por um sistema unitário em cidades muito urbanizadas ou onde se previam taxas de crescimento substanciais ou por sistemas separativos para centros urbanos de menores dimensões e onde prevalecessem zonas permeáveis, ou seja, onde a volume de águas pluviais nos coletores fosse reduzido. Desta forma resultou que, até meados do século XX, as cidades europeias, na sua maioria, optaram por sistemas de drenagem unitários, ao passo que o sistema separativo era a opção mais comum nas cidades americanas (Matos 2003).

O acréscimo da preocupação com o tratamento de águas residuais ocorre no final do século XIX e início do século XX, com o surgimento das primeiras cidades a disporem de instalações de tratamento nos Estados Unidos da América (Matos 2003).

Em Portugal, os primeiros relatos que existem sugerem a existência de operações de limpeza a infraestruturas destinadas à drenagem de águas pluviais, na cidade de Lisboa, no século XV, com o intuito de minimizar o impacto da peste que proliferava na época e do elevado crescimento populacional registado; neste âmbito, foi instalado o princípio da “canalização metódica” (coletores unitários em malha com ligação ao estuário do Tejo), o qual ainda pode ser observado nos dias de hoje (Matos 2003).

É mais tarde, mais concretamente no século XIX, que se dá início, em Lisboa, com Ressano Garcia, à criação dos primeiros projetos de saneamento, fortemente inspirados no trabalho de Edwin Chadwick, que alertava para a necessidade do correto planeamento e construção de infraestruturas direcionadas para a drenagem urbana (Matos 2003).

A introdução de sistemas de abastecimento e de distribuição de água domiciliária em Portugal coincide com o surgimento da epidemia de cólera na capital portuguesa, recorrendo a tubagens de ferro fundido funcionando sob pressão, bem como a implementação de barro e grés no fabrico de ramais domiciliários e coletores. Importa referir que, em Lisboa, a implementação de ramais domésticos é posterior à implementação de coletores pluviais, os quais apresentavam, regra geral, soleira plana e eram executados em cantaria (à semelhança dos coletores pombalinos) ou em cascões de pedra retangulares (Matos 2003).

A introdução de coletores de betão em Portugal (pré-fabricados ou betonados *in situ*) é feita aproximadamente um século depois do registado na Europa, que já apresentavam juntas fechadas de argamassa de cimento (Matos 2003).

O desenvolvimento tecnológico permitiu, não só a mitigação de problemas existentes nas redes de drenagem mas também a consciencialização da comunidade científica face ao crescimento da poluição nas águas pluviais, surgindo, neste âmbito, as primeiras discussões sobre as vantagens e inconvenientes de determinados sistemas de drenagem: por um lado, começou a perceber-se que a separação dos sistemas residuais e pluviais nunca originaria um sistema inteiramente separativo, uma vez que os primeiros acabariam sempre por transportar uma percentagem de águas pluviais (existência de infiltrações e ligações domiciliárias mal executadas); por outro, começa a haver a perceção da poluição das águas pluviais, através da presença de matéria em suspensão e mesmo de substâncias nocivas à saúde das populações e à conservação do meio ambiente, tais como chumbo e zinco. Assim, surge o primeiro sistema separativo em Portugal, no Porto, que serviu de exemplo para a implementação deste sistema numa faixa litoral que abrangia Estoril e Cascais (Matos 2003).

A primeira rede separativa doméstica no país surge no Barreiro, em meados da década de quarenta, que desencadeou outros projetos pelo país com vista à remodelação das redes unitárias e à instalação de redes separativas (Matos 2003).

A fórmula racional para cálculo de caudais pluviais é publicada pela primeira vez pelo engenheiro Kuichling (Matos 2006). Em Portugal a utilização do Método Racional Generalizado é feita em 1955 para o cálculo de caudais pluviais da cidade de Lisboa (Matos et al. 2008).

Atualmente o sistema de drenagem das grandes cidades é extremamente complexo, com a existência de redes unitárias, separativas e pseudo-separativas, redes ramificadas e redes malhadas, descarregadores, sifões invertidos, intercetores e ETAR, o que dificulta todas as operações de manutenção e de controlo inerentes a este tipo de infraestruturas, sem desprezar os impactos financeiros, sociais e ambientais que estas atividades possam ter na comunidade. (Guerreiro et al. 2015). Em contexto global, crescem as alternativas sustentáveis, com vista a aproximar, tanto quanto possível, o ambiente urbano às condições hidrológicas naturais, destacando-se reservatórios à escala

residencial, com o intuito de aproveitar as águas pluviais para fins menos nobres (por exemplo regas), telhados verdes e ainda o recurso a pavimentos permeáveis e porosos (Consultoria Júnior 2020).

### 2.1.3 Tipos de sistemas de drenagem

Os sistemas de drenagem urbanos, regra geral, podem ser divididos nas seguintes parcelas: sistema de drenagem superficial e rede de drenagem (Yen and Akan 1999).

Existem quatro tipos de sistemas de drenagem, em função da natureza dos caudais que transportam, os quais são definidos na legislação portuguesa no Artigo 116º do Decreto Regulamentar (DR) n.º 23/95, de 23 de agosto, da seguinte forma (Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações 1995):

- sistemas unitários, caracterizados por apresentarem uma única rede de coletores que transportam os caudais pluviais e os provenientes das habitações e das indústrias. Nesta situação, os caudais são transportados sem qualquer tipo de separação;
- sistemas separativos, onde se processa separadamente o transporte das águas residuais domésticas e das águas pluviais ou semelhantes. A separação dá-se através da implementação de duas redes de coletores;
- sistemas mistos, constituídos pela junção dos dois tipos anteriormente explicados, em que parte do sistema terá as características de um sistema unitário e a restante terá as características do sistema separativo;
- sistemas separativos parciais ou pseudo-separativos, onde se realiza, em condições excecionais, a ligação das águas pluviais provenientes de determinados locais, tais como pátios interiores, a redes de águas residuais.

Regra geral, o escoamento com superfície livre é a opção utilizada pelos projetistas, o qual poderá ser aplicado a todos os tipos de sistema (Barreiro 2017; Matos 2006). No entanto, em determinadas situações, poderá ser necessário recorrer ao escoamento sob pressão (por bombagem), quando existam condicionantes técnicas e económicas. É ainda possível, no caso de se tratar de um sistema separativo doméstico, a consideração do escoamento sob vácuo, através da criação de diferenças de pressão nas tubagens, com recurso a ar e água. Estes sistemas são aconselhados na situação de se estar perante uma urbe de pequena densidade populacional, podendo constituir uma solução de menor custo (Barreiro 2017; Leboeuf 2015; Matos 2006).

Por fim, a escolha do tipo de sistema de drenagem terá de ser feita com base nas vantagens e desvantagens de cada sistema, apresentadas na Tabela 2.1 (Matos 2006).

*Tabela 2.1 - Principais vantagens e desvantagens dos sistemas separativos convencionais, não convencionais e unitários (Matos 2006)*

	Sistemas convencionais,	Sistemas convencionais unitários	Sistemas não convencionais: de coletor gravítico de pequeno diâmetro ou sob vácuo
--	-------------------------	----------------------------------	---

	separativos domésticos e pluviais		
Vantagens	A separação dos efluentes no transporte permite que se tratem, diferenciadamente, esses mesmos efluentes, uma vez que o tipo de tratamento, bem como o seu destino final, é condicionado pela origem do efluente;	Pela sua simplicidade (tanto na tipologia dos coletores como das ligações executadas) permite que tenham um custo inicial substancialmente menor;	Custo inicial menor em zonas predominantemente planas ou no caso de se estar perante locais com níveis freáticos substanciais.  No caso do sistema sob vácuo, reduz o risco de ocorrência de contaminação da água através de infiltrações.
Desvantagens	Devido à maior complexidade da rede, implica um maior investimento numa fase inicial; maior complexidade na realização de ligações entre a rede e os ramais prediais.	As eventuais descargas de excedentes, com elevada carga de poluentes, implicam efeitos nefastos para o meio ambiente.  O facto de ser transportadas conjuntamente águas provenientes de consumo doméstico e água pluviais, implica um aumento dos custos provenientes do consumo energético de estações elevatórias e de tratamento.	No caso de se estar perante um sistema gravítico, existe um custo acrescido relativo à conservação da rede; tratando-se de um sistema sob vácuo, o custo acresce com a necessidade de mão de obra especializada para a sua exploração.

#### 2.1.4 Componentes dos sistemas de drenagem

O bom aproveitamento de um sistema de drenagem, independentemente da sua tipologia, está fortemente dependente dos componentes que o constituem. Assim, importa destacar (Barreiro 2017; Matos 2006):

- coletores;
- dispositivos de entrada, tais como sarjetas de lancil de passeio, que recolhem o escoamento superficial lateralmente, sumidouros, onde a entrada do escoamento superficial se dá através de uma grade existente no pavimento e ainda combinação de sumidouro e sarjeta;
- câmaras de visita, que permitem o acesso aos coletores, de forma a possibilitar eventuais observações e ações de limpeza;
- câmaras de corrente de varrer, que asseguram a limpeza dos coletores quanto a autolimpeza não é assegurada. No entanto, são cada vez menos utilizados, uma vez que é possível recorrer à lavagem direta por agulheta.
- descarregadores, que permitem, na existência de avarias, que se coloque fora de serviço componentes localizadas a jusante do mesmo ou ainda quando a afluência de águas residuais é exagerada, a retirada de parte ou da totalidade do efluente dos coletores;
- desarenadores, que permitem a retenção de materiais, habitualmente areia e sólidos finos, transportados na água pluvial;
- instalações elevatórias, que permitem o recurso a um sistema de drenagem gravítica das águas residuais;

- sifões invertidos, que são usados na transposição de obstáculos existentes no percurso da rede, como por exemplo rios. São constituídos por um ou mais trechos com escoamento sob pressão gravítica;
- bacias de retenção, que se destinam a reduzir os caudais de ponta de cheia a jusante, as quais são utilizadas, normalmente, em sistemas pluviais, e, com menos frequência, em sistemas unitários.

### **2.1.5 Dispositivos de interceção**

Os dispositivos de interceção, tais como os sumidouros e as sarjetas de passeio, permitem que o escoamento superficial seja captado e encaminhado para os coletores, auxiliados por dispositivos como valas, valetas e bermas (Matos 2006).

Uma das problemáticas associadas ao dimensionamento de redes de drenagem em meio urbano é o facto de, regra geral, os projetos de águas pluviais se resumirem ao dimensionamento de coletores, colocando em segundo plano o estudo aprofundado destes dispositivos, em termos de localização e capacidade hidráulica. (Matos 2006). Assim, nesta dissertação, será feita uma análise mais aprofundada desta temática. No capítulo “Metodologia de Cálculo Automático da Eficiência Hidráulica dos Dispositivos de Interseção” será analisada a metodologia utilizada para determinação da capacidade hidráulica dos dispositivos interceptores.

Para o correto dimensionamento destes dispositivos de interceção, para além das ferramentas de cálculo, é ainda necessária a ponderação de outros critérios que definirão a localização do dispositivo e a sua tipologia, salientando-se o critério do não transbordamento, o critério da limitação de velocidade e o critério da limitação de caudal (Matos 2006).

Os dispositivos interceptores permitem reduzir a dispersão de água na superfície (espraiamento), pelo que a sua localização e dimensionamento estão dependentes da geometria da via rodoviária (Brown et al. 2013). Neste sentido, e de acordo com o DR n.º 23/95, Artigo 162º, a implantação dos sumidouros e das sarjetas deve ser prevista nas seguintes situações (Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações 1995):

- em pontos baixos dos arruamentos;
- nos cruzamentos, permitindo assim que a faixa de rodagem não seja atravessada por escoamento superficial;
- distribuídos pelas valetas, permitindo que a largura da lâmina líquida não ultrapasse os valores máximos admissíveis para esta variável.

Refira-se ainda que a sua implantação poderá ser considerada na presença de interceções e passeadeiras (Brown et al. 2013), bem como em locais onde se preveja que haja acumulações de água em determinados pontos, proveniente de lotes, caleiras, tubos de queda, zonas verdes, entre outros (Padrão 2016). Menciona-se ainda que a implementação dos dispositivos interceptores deve ter em conta critérios de escoamento superficial, subdividindo-se em critérios de limitação de altura e



velocidade e ainda critérios de limitação de caudal (Matos 2006), bem como a avaliação de eventuais entupimentos, segurança e comodidade do trânsito (Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações 1995), os quais irão ser abordados em seguida.

### **Critério de não transbordamento**

Os dispositivos intercetores devem ser implantados com o objetivo de permitir que a valeta, definida pela superfície do arruamento e da face vertical do passeio, possa atingir a sua capacidade máxima, permitindo, assim, que o escoamento superficial execute o maior trajeto possível (Matos 2006).

No caso de se estar perante uma valeta junto a um lancil, pode-se assumir que o valor máximo da altura nestes dispositivos deve ser igual ou inferior a 0,8 vezes a altura do lancil (Matos 2006). No entanto, poderão ser adotados diferentes valores para este critério, tal como se verifica no DR n.º 23/95, Artigo 165º, onde é mencionado que a altura máxima da lâmina de água nas valetas deve ser igual à altura do lancil deduzida de 2 cm, bem como uma largura máxima da lâmina de água nestes dispositivos de 1 m (Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações 1995).

Em relação ao período de retorno a considerar para os transbordamentos, constata-se que é variável de caso para caso. Uma vez que esta dissertação se refere ao meio urbano, não se consideram períodos de retorno inferiores a 2 anos (Matos 2006). Menciona-se, ainda, que o DR n.º 23/95 admite um intervalo para este período de 2 a 10 anos. No entanto, o mesmo documento alerta para a necessidade de haver reforço de sumidouros no caso de se considerar períodos de retorno superiores a 10 anos (Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações 1995).

### **Critério de limitação de velocidade**

O critério da limitação da velocidade do escoamento pluvial permite, não só uma utilização da via pública para os peões e condutores de velocípedes e motociclos mais cómoda, como também permite reduzir significativamente o desgaste que este fenómeno provoca no pavimento (Matos 2006; Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações 1995). Assim, é aceitável assumir-se o valor de 3 m/s como limite máximo para este parâmetro (Matos 2006; Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações 1995). Importa mencionar que, perante arruamentos de declive acentuado, a consideração deste critério é essencial, uma vez que poderá ser o critério condicionante (Matos 2006).

### **Critério de limitação de caudal**

Uma vez que a eficiência hidráulica dos dispositivos intercetores está dependente do caudal afluente aos mesmos, considera-se, geralmente, que a capacidade máxima das valetas seja de 300 l/s, podendo haver ajustes a este limite, dependendo das condicionantes do projeto (Matos 2006).

Com a implementação dos três critérios referidos anteriormente, é assim possível avaliar as soluções disponíveis para a localização de um determinado dispositivo.

As dimensões dos dispositivos de intercepção devem conseguir garantia de eficiências hidráulicas satisfatórias (entre 75 e 85%), a qual é calculada pela razão entre o caudal captado e o caudal afluente ao dispositivo em análise (Matos 2006). No entanto, o DR n.º 23/95, Artigo 164º, estabelece valores mínimos para a geometria da grade dos sumidouros e das sarjetas: por um lado, os sumidouros deverão ter uma grade com largura e comprimento mínimo de 35 e 60 cm, respetivamente; por outro, as sarjetas deverão apresentar uma largura mínima para a abertura lateral de 45 cm e uma altura mínima da mesma abertura de 10 cm. É ainda mencionado, no mesmo documento, que a grade dos sumidouros deverá ter as barras na direção do escoamento, minimizando o número de barras transversais ao mesmo (Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações 1995).

Os dispositivos interceptores poderão ainda ser avaliados tendo em conta a sua tipologia. Assim, o DR n.º 23/95, Artigo 163º, menciona que as sarjetas e os sumidouros poderão dispor ou não de sifonagem (vedação hidráulica) e de câmara de retenção de sólidos (IGPAI 1973; Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações 1995). De acordo com a Norma Portuguesa 676 (NP-676:1973), existem doze tipos de sarjetas e sumidouros, com base na tipologia referida no DR aludido anteriormente (IGPAI 1973):

- tipo L: sarjeta de lancil de passeio, sem vedação hidráulica, sem câmara de retenção;
- tipo LC: sarjeta de lancil de passeio, sem vedação hidráulica, com câmara de retenção;
- tipo LH: sarjeta de lancil de passeio, com vedação hidráulica, sem câmara de retenção;
- tipo LHC: sarjeta de lancil de passeio, com vedação hidráulica, com câmara de retenção;
- tipo V: sumidouro de valeta sem lancil, sem vedação, sem câmara de retenção;
- tipo VC: sumidouro de valeta sem lancil, sem vedação hidráulica, com câmara de retenção;
- tipo VH: sumidouro de valeta sem lancil, com vedação hidráulica, sem câmara de retenção;
- tipo VHC: sumidouro de valeta sem lancil, com vedação hidráulica, com câmara de retenção;
- tipo F: sumidouro de valeta com lancil, sem vedação hidráulica, sem câmara de retenção;
- tipo FC: sumidouro de valeta com lancil, sem vedação hidráulica, com câmara de retenção;
- tipo FH: sumidouro de valeta com lancil, com vedação hidráulica, sem câmara de retenção;
- tipo FHC: sumidouro de valeta com lancil, com vedação hidráulica, com câmara de retenção.

Em relação à distinção dos sumidouros tendo em conta a existência ou não de lancil, refira-se que, no caso de se estar perante um arruamento com inclinação longitudinal superior a 5%, deverão ser utilizados exclusivamente os sumidouros do tipo F (IGPAI 1973).

O recurso a sarjetas ou sumidouros sifonados é feito em redes unitárias ou troços de redes separativas onde existe a possibilidade de ocorrência de maus odores, ao passo que o recurso a câmaras de retenção é recomendado quando se preveem caudais sólidos significativos e/ou incompatíveis com a capacidade de transporte do coletor (IGPAI 1973).

Refira-se ainda que a grelha e o respetivo caixilho de suporte devem ser em ferro fundido ou aço inox e ter proteção contra a corrosão, por exemplo, com recurso à proteção térmica (IGPAI 1973).

Na Figura 2.1, 2.2 e 2.3 encontram-se representações dos dispositivos intercetores apresentados na NP-676:1973 (IGPAI 1973).

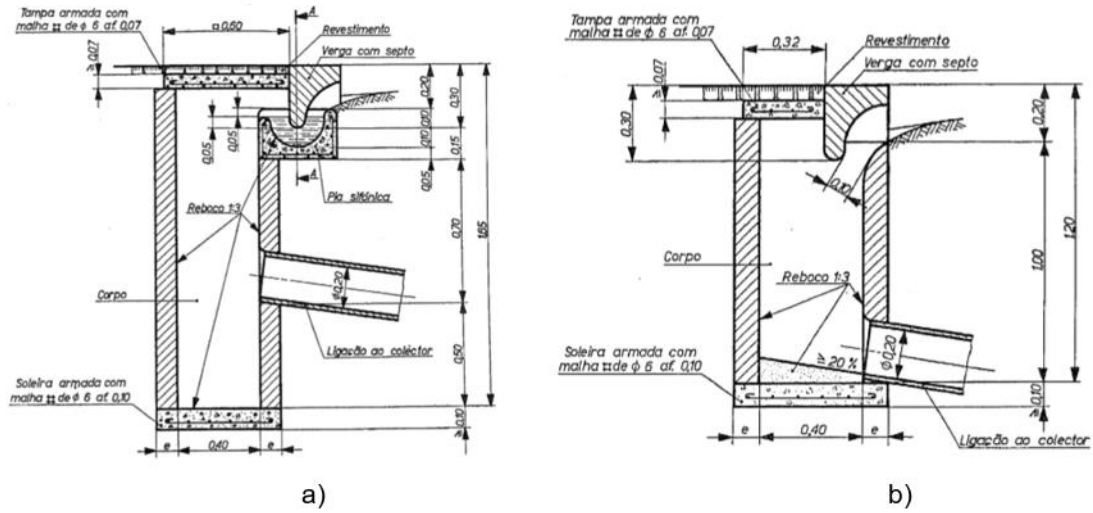


Figura 2.1 - Representação esquemática dos constituintes das sarjetas: a) sarjeta de lancil com vedação hidráulica, com câmara de retenção; b) sarjeta de lancil sem vedação hidráulica, sem câmara de retenção (adaptado de (IGPAI 1973))

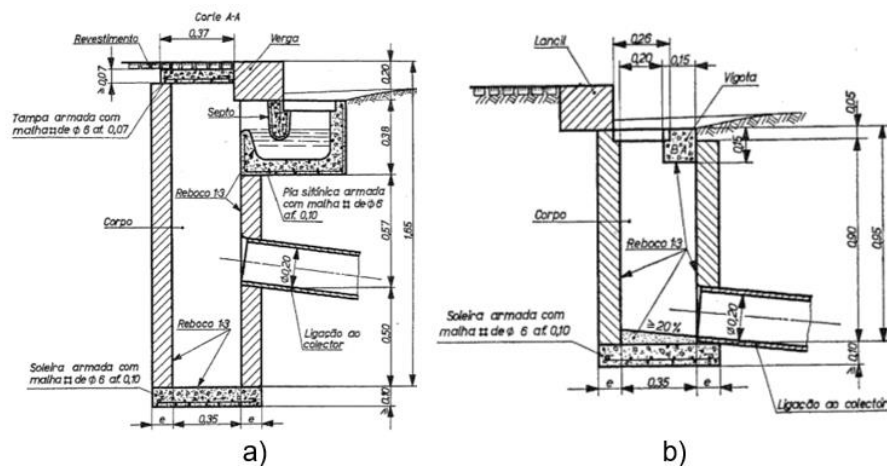


Figura 2.2 - Representação esquemática dos constituintes dos sumidouros de valeta com lancil: a) sumidouro de valeta com lancil com vedação hidráulica, com câmara de retenção; b) sumidouro de valeta com lancil sem vedação hidráulica, sem câmara de retenção (adaptado de (IGPAI 1973))

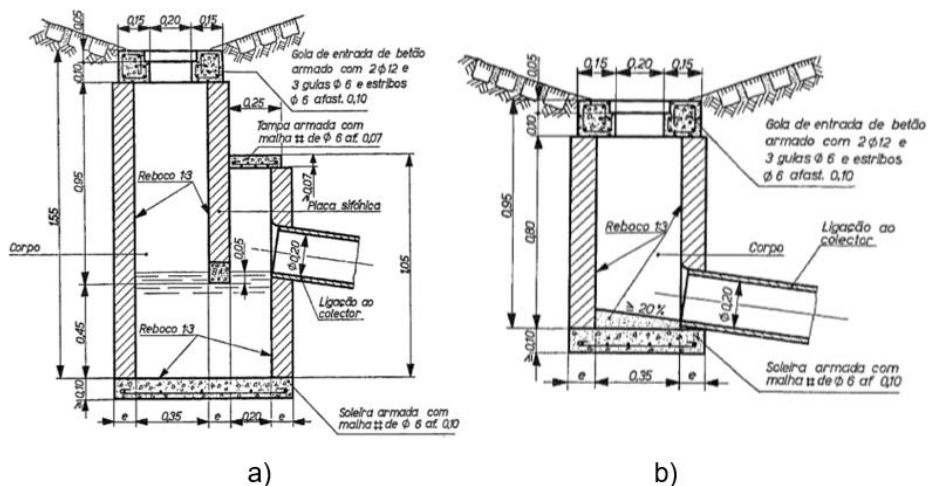


Figura 2.3 - Representação esquemática dos constituintes dos sumidouros de valeta sem lancil: a) sumidouro de valeta sem lancil com vedação hidráulica, com câmara de retenção; b) sumidouro de valeta sem lancil sem vedação hidráulica, sem câmara de retenção (adaptado de (IGPAI 1973))

## 2.2 Dimensionamento de dispositivos de interseção

### 2.2.1 Considerações iniciais

A correta conceção de sistemas de drenagem urbana, do ponto de vista das soluções adotadas e da sua viabilidade económica, é um desafio de extrema complexidade. (Sousa and Matos n.d.). Assim, tendo em vista a otimização destes sistemas, com especial ênfase à redução dos caudais de ponta pluvial, devem-se cumprir os seguintes objetivos (David and Sousa n.d.; Sousa and Matos n.d.):

- aumentar o volume de água pluvial infiltrada (por exemplo, através de intervenções como pavimentos impermeáveis, telhados verdes e bacias de infiltração);
- aumentar o volume da água pluvial retida e intercetada, por exemplo, nas depressões do solo e nas árvores e arbustos;
- promover o armazenamento temporário da água pluvial em bacias de retenção;
- permitir condições controladas de escoamento superficial ao longo de superfícies impermeabilizadas (passeios, arruamentos, parques de escoamento) na ocorrência de fenómenos pluviais intensos, com vista à minimização do impacto destes fenómenos nos utilizadores das vias e do desgaste dessas superfícies.

A verdade é que a interdependência entre a bacia drenante, o tipo de ocupação do solo e os caudais pluviais torna complexa a conceção dos sistemas de drenagem; neste sentido, a conceção de um plano urbanístico robusto é fundamental para evitar erros ou problemas inerentes a estes sistemas, surgindo, nesta temática, a correta implantação de dispositivos intercetores (Sousa and Matos n.d.). Assim, nesta dissertação será aprofundado o tema do dimensionamento hidráulico dos dispositivos intercetores, bem como do impacto das suas eficiências num sistema de drenagem urbano.

O adequado funcionamento de um sistema de drenagem urbana está fortemente dependente do correto dimensionamento e implantação dos dispositivos de entrada, por forma a permitir a captação do caudal

proveniente do escoamento superficial, sem desprezar o cumprimento dos critérios referidos na secção 2.1.5 para os dispositivos intercetores e os seguintes elementos de base para a rede de drenagem pluvial (Sousa and Matos n.d.):

- decomposição da bacia hidrográfica em sub-bacias elementares, afetas a troços da rede, tendo em conta a ocupação do solo;
- definição do período de retorno,  $T$ , o qual corresponde ao intervalo de tempo médio associado à ocorrência de precipitação de intensidade média superior a um determinado valor. Na prática, no contexto urbano, este valor varia entre 2 e 10 anos, podendo, no entanto, o valor ser alterado se se verificar que os prejuízos de possíveis inundações assim o justifiquem;
- definição de áreas drenantes na área de estudo;
- conhecimento do regime pluviométrico local, através das curvas de intensidade-duração-frequência (curvas IDF);
- definição do coeficiente de escoamento associado a cada sub-bacia, o qual é dado pela razão entre o volume de água que origina escoamento e o volume de água que precipita na zona de estudo;
- definição dos tempos de concentração associados às bacias de cabeceira (tempo que a água precipitada consome entre o ponto hidráulicamente mais afastado da bacia até à secção em estudo);
- avaliação dos condicionalismos de natureza hidráulica, associados à descarga final da água pluvial no meio recetor.

Para um sistema de drenagem urbana, pode ser utilizado o Método Racional para determinar caudais de ponta. Matematicamente, o método é expresso pela expressão (2.1) (Sousa and Matos n.d.):

$$Q_p = C.I.A \quad (2.1)$$

onde:

- $Q_p$  representa o caudal de ponta ( $m^3/s$ );
- $C$  representa o coeficiente de método racional ou de escoamento (adimensional);
- $I$  representa a intensidade média de precipitação ( $m^3/(ha.s)$ );
- $A$  corresponde à área da bacia hidrográfica (ha).

Na utilização deste método são inerentes os seguintes pressupostos (Padrão 2016; Sousa and Matos n.d.):

- o caudal de ponta ocorre quando toda a bacia contribui para o escoamento, ou seja, ao fim de um determinado intervalo de tempo igual ao tempo de concentração  $t_c$ ;
- a intensidade de precipitação é igual em toda a bacia;
- a intensidade de precipitação é uniforme durante um tempo igual ao tempo de concentração que lhe deu origem;
- a frequência de ocorrência (ou período de retorno) do caudal de ponta coincide com a da intensidade de precipitação que lhe deu origem;

- o coeficiente do método racional não se altera com a variação das precipitações, qualquer que seja o período de retorno.

Sem desprezar a grande utilidade do método, importa mencionar que o mesmo apresenta algumas limitações, que advêm das simplificações inerentes ao mesmo (Padrão 2016). De entre as limitações destaca-se o campo de utilização do método racional, que apresenta algumas divergências nos valores adotados por diversos autores. No entanto, é mencionado que a fórmula racional deve ser apenas adotada para bacias inferiores a 1300 ha (Sousa and Matos n.d.). Outra limitação reside na escolha do valor de C que, pelo facto de englobar diversos fatores (relação entre o volume de água escoada e a precipitação, efeitos de retenção, regolfo, atrasos do escoamento ao longo do terreno, entre outros) aumenta a incerteza associada à sua escolha (Portela and Hora 2002; Sousa and Matos n.d.). Refere-se ainda que os efeitos mencionados estão dependentes das características físicas da bacia (inclinação, formato, tipo de solo), ocupação da mesma e precipitação (variações do estado de humidade do solo e da duração e distribuição da precipitação) (Iowa Department of Transportation 1995; Sousa and Matos n.d.).

Em contexto prático, o valor assumido para o coeficiente C resulta de um valor C médio, uma vez que a área de estudo, regra geral, é composta por várias secções com diferentes coeficientes de escoamento (Iowa Department of Transportation 1995). Assim, o coeficiente de escoamento médio é dado pela equação (2.2) (Sousa and Matos n.d.):

$$C = \frac{\sum_i (C_i \cdot A_i)}{\sum_i A_i} \quad (2.2)$$

onde:

- $A_i$  representa as áreas das várias secções de uma bacia hidrográfica, em  $m^2$ ;
- $C_i$  representa o valor de C para a área  $A_i$  em estudo (adimensional).

Para a obtenção do valor da intensidade média de precipitação, I admite-se que toda a área da bacia contribui para caudal da secção em estudo (situação crítica), ou seja, por definição, quando a duração da chuvada é igual ao tempo de concentração. Tal pode ser explicado pelo facto de que, para valores inferiores do tempo de concentração, equivale a considerar que nem toda a bacia contribui para o caudal de ponta máximo e, para valores superiores, a intensidade média de precipitação é menor, o que equivale a um menor caudal (Sousa and Matos n.d.). Ainda em relação ao valor da intensidade média de precipitação, o DR 23/95, Artigo 128.º define que, na elaboração projetos de drenagem de água pluviais, devem ser utilizadas as curvas IDF, obtidas a partir de análise estatística de séries históricas com dados relativos a um considerável número de anos, provenientes de registos udográficos, as quais permitem obter o valor de I valor para diversas durações e períodos de retorno (Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações 1995). Em Portugal, a equação que descreve as curvas IDF é a expressão (2.3) (Iowa Department of Transportation 1995; Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações 1995; Padrão 2016; Sousa and Matos n.d.):

$$I = a \cdot t_p^b \quad (2.3)$$

onde:

- $t_p$  representa o tempo de precipitação que, caso se recorra ao método Racional, será igual ao tempo de concentração,  $t_c$  (min)
- $I$  representa a intensidade média de precipitação (mm/h);
- $a$  e  $b$  dependem da região pluviométrica (em Portugal subdividem-se em A,B e C) e do período de retorno considerado, sendo os mesmos adimensionais.

(Padrão 2016) Existem vários estudos em Portugal sobre a temática. No entanto salientam-se, pela positiva, os trabalhos de Matos e Silva (1986), nos quais propõem, a nível nacional, a utilização das curvas IDF que estabeleceram para Lisboa, sugerindo que as intensidades médias das precipitações sejam agravadas de 20% nas regiões montanhosas de altitude superior a 700 m e deduzidas de 20% nas regiões do Nordeste) e, num contexto mais recente, destacam-se Brandão (1995) e Brandão e Rodrigues (1998), no qual são estabelecidas curvas IDF para diversos postos udográficos e para os períodos de retorno de 50, 100, 500 e 1000 anos (Brandão, Rodrigues, and Costa 2001; Quintela and Portela n.d.). Importa ainda referir que a aplicação das curvas IDF implica a consideração do tempo de concentração entre 5 minutos e 24 horas (Brandão et al. 2001).

Em relação ao tempo de concentração, pode-se descrever este parâmetro como o tempo que uma gota de água caída no ponto hidráulicamente mais afastado leva a atingir a secção em estudo ou, ainda, como o tempo gasto para que todos os pontos da bacia contribuam para o escoamento (Padrão 2016).

Em bacias urbanas, no contexto de dimensionamento de redes de drenagem, o tempo de concentração é dado pela soma do tempo de entrada,  $t_e$ , o qual corresponde ao percurso superficial da água até ao primeiro dispositivo de entrada, com o tempo de percurso,  $t_p$ , entre o dispositivo de entrada e a secção de jusante do troço do coletor em questão (Sousa and Matos n.d.). Menciona-se ainda que o tempo de entrada varia em função do tipo e ocupação do solo e do declive superficial. Para Portugal, recomenda-se a utilização dos valores apresentados na Tabela 2.2 para este parâmetro (Martins 2016; Sousa and Matos n.d.):

Tabela 2.2 - Tempo de entrada em bacias urbanas, em minutos. Fonte: (Martins 2016; Sousa and Matos n.d.)

	Muito inclinadas ( $i_{bacia} > 8\%$ )	Inclinadas ( $1,5\% < i_{bacia} < 8\%$ )	Médias e planas ( $i_{bacia} < 1,5\%$ )
Áreas impermeáveis > 50%	5	7,5	10
Áreas impermeáveis < 50%	5	10	15

onde  $i_{bacia}$  representa a inclinação da bacia em estudo. O tempo de percurso, regra geral, é determinado recorrendo a expressões de cálculo hidráulico em regime permanente, destacando-se nesta matéria a expressão de Manning-Strickler (Sousa and Matos n.d.).

Por fim, importa referir que, para os dispositivos intercetores apresentados neste capítulo, a eficiência hidráulica é dada pela razão entre os caudais captados,  $Q_{captado}$ , e afluentes,  $Q_0$ , a qual é descrita pela equação (2.4). (Sousa and Matos n.d.)

$$E_{hidráulica} = \frac{Q_{captado}}{Q_0} \quad (2.4)$$

## 2.2.2 Valetas

O escoamento das águas pluviais é assegurado por diversas componentes, das quais se destacam as valetas, os dispositivos interceptores, os coletores e, em caso de necessidade, órgãos especiais (desarenadores, bacias de retenção, câmaras drenantes e instalações elevatórias), com a finalidade de captar e conduzir as águas pluviais até um local apropriado para o efeito, minimizando os eventuais impactos negativos associados a este escoamento (Matos 2006; Padrão 2016; UDFCD 2016).

Tal como já foi mencionado na secção 2.1.5, para além das ferramentas de cálculo, obviamente necessárias para o correto dimensionamento destes dispositivos, há que ter em conta determinados critérios, mencionados nesse mesmo capítulo. Convida-se assim o leitor a visitar o mesmo.

As valetas são órgãos cruciais, uma vez que permitem o transporte do escoamento superficial até um ponto de captação (Padrão 2016). Estes dispositivos, no âmbito da drenagem urbana, apresentam, regra geral, perfil triangular (Figura 2.4) podendo também apresentar perfil trapezoidal (também designada por valeta rebaixada) (Padrão 2016; Sousa and Matos n.d.; UDFCD 2016).

A capacidade hidráulica das valetas nos arruamentos é função do cálculo do caudal de ponta da bacia em questão e, como já foi mencionado anteriormente, é usual a utilização do método Racional para o cálculo desse mesmo caudal. Note-se que, apesar de que o escoamento nas valetas não ser uniforme, por uma questão de simplificação e por se tratar de períodos de cheia relativamente curtos, considera-se que o escoamento nestes órgãos é uniforme. Refira-se ainda que, tanto a inclinação longitudinal e transversal do arruamento influenciam a capacidade deste órgão (UDFCD 2016).

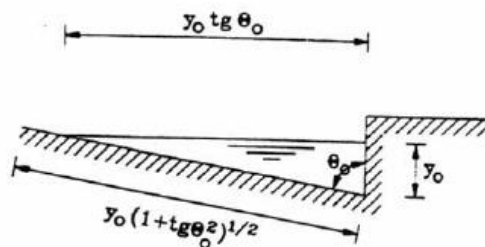


Figura 2.4 - Representação esquemática de uma valeta com secção triangular ou sem depressão (Fonte: (Matos 2006))

No dimensionamento de valetas, considera-se que o escoamento nestes dispositivos se processa em regime de superfície livre, permitindo assim a aplicação da fórmula de Gauckler-Manning-Strickler, (2.5), para o efeito (Padrão 2016; Sousa and Matos n.d.), desde que, para tal, se despreze a parte do perímetro molhado correspondente à face do lancil (Wilken 1978):

$$Q_0 = \frac{1}{n} \cdot A_0 \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (2.5)$$

onde:



- $Q_0$  representa o caudal afluente, em  $m^3/s$ ;
- $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning, em  $m^{-1/3}s$ ;
- $A_0$  é a área de secção molhada, em  $m^2$ ;
- $R$  é o raio hidráulico, em  $m$ ;
- $i$  é o declive longitudinal da valeta, em  $m/m$ .

Caso se esteja a estudar um arruamento com declive transversal constante, então a valeta da mesma apresenta secção transversal triangular (Figura 2.4). Uma vez que é admitido o escoamento em regime uniforme nestes órgãos, a altura uniforme de escoamento a montante deste dispositivo pode ser dada pela equação (2.6) (Sousa and Matos n.d.):

$$y_0 = \frac{1,542(Q^{3/8} \cdot n^{3/8})}{\tan \theta_0^{3/8} \cdot i^{3/16}} \quad (2.6)$$

onde:

- $y_0$  corresponde à altura anteriormente mencionada, em  $m$ ;
- $\theta_0$  é o ângulo que o plano do arruamento forma com o plano vertical (ou seja, com o lancil), em graus.

As restantes variáveis apresentam o significado anteriormente mencionado. Importa ainda definir um valor para o coeficiente de rugosidade de Manning a adotar em projeto. De acordo com os valores fornecidos em (Wilken 1978) e (Thomason 2019a), considerou-se viável a utilização, no âmbito desta dissertação, de  $0,015 m^{-1/3}s$  para esta variável, uma vez que é aceitável tanto para valetas de asfalto como de betão.

No caso de se estar perante a situação de se ter uma valeta rebaixada, ou seja, onde o declive transversal não é constante, a secção do escoamento deixa de ser triangular, pelo que a metodologia de cálculo nestas condições é distinta (Sousa and Matos n.d.). A metodologia de cálculo para cada caso será aprofundada em seguida.

### 2.2.3 Sarjetas de passeio

Como já foi referido, uma sarjeta de passeio é um dispositivo cujo dispositivo de recolha se situa sob o passeio e que permite a entrada de água através de uma abertura lateral, a qual se localiza na face vertical do lancil (Sousa and Matos n.d.). Na Figura 2.5 encontra-se uma sarjeta de passeio sem depressão.



Figura 2.5 - Sarjeta sem depressão

Como seria de esperar, a eficiência hidráulica das sarjetas de passeio depende da geometria da valeta a montante, bem como da existência ou não de uma depressão localizada na zona adjacente à sarjeta. Para o caso de se tratar de uma sarjeta de passeio sem depressão, a sua capacidade pode ser determinada recorrendo à equação (2.7) (Sousa and Matos n.d.):

$$Q_{\text{captado}} = L \cdot K \cdot y_0^{3/2} \cdot g^{1/2} \quad (2.7)$$

onde:

- $Q_{\text{captado}}$  representante do caudal captado pelo dispositivo em questão, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;
- $L$  o comprimento da boca da sarjeta, em  $\text{m}$ ;
- $y_0$  a altura uniforme de escoamento a montante da sarjeta, ou seja, a altura de escoamento na valeta sem depressão, em  $\text{m}$ ;
- $g$  a aceleração da gravidade, em  $\text{m}/\text{s}^2$ ;
- $K$  representa uma constante empírica, que tem em conta a inclinação transversal do arruamento: tomará o valor de 0,23 se essa inclinação for de 8% ou será 0,20 caso essa mesma inclinação tome valores de 2 a 4%.

No caso de haver depressão, como se ilustra na Figura 2.6, a expressão (2.7) não permite obter a capacidade destes dispositivos, sendo necessário proceder à sua correção, de forma a se considerar o incremento de carga hidráulica (Sousa and Matos n.d.). As duas situações possíveis para determinação da sua capacidade serão aprofundadas de seguida.

**Caso 1:  $L_1 \geq 10a$ ,  $L_2 = 4a_s$  e  $a_s = b_s$**

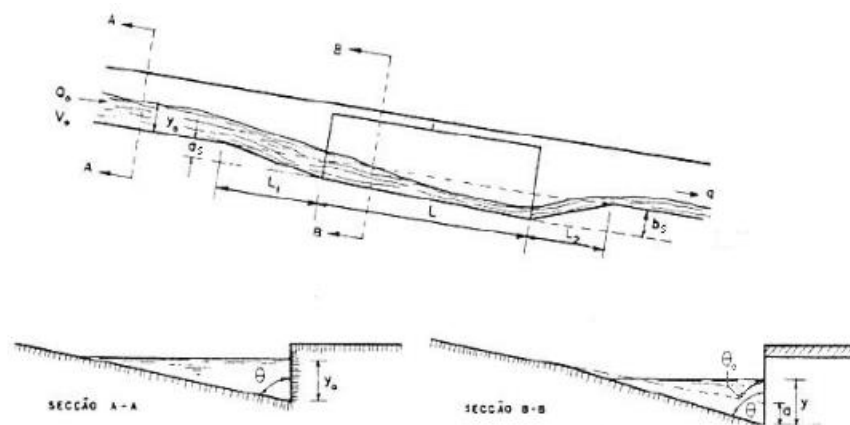


Figura 2.6 - Representação esquemática de uma sarjeta com depressão (adaptado de (Wilken 1978))

No caso de se estar perante uma sarjeta com depressão do tipo 1, a capacidade deste dispositivo é dada pela equação (2.8). Note-se que as sarjetas com depressão do tipo 1 se caracterizam por apresentarem comprimentos dos troços a montante e jusante da depressão ( $L_1$  e  $L_2$ , respetivamente) e a altura de depressão na extremidade de jusante da abertura da sarjeta,  $b_s$  com as seguintes condicionantes:  $L_1 \geq 10a_s$ ;  $L_2 = 4a_s$  e  $a_s = b_s$ , onde  $a_s$  representa a altura da depressão na extremidade de montante da abertura da sarjeta (Hsiung Li, Sorteberg, and Geyer 1951; Matos 2006; Wilken 1978):

$$Q_{captado} = L(K + C)y_0^{3/2}g^{1/2} \quad (2.8)$$

$$C_{sarjeta_1} = \frac{0,45}{1,12^M} \quad (2.9)$$

$$M = \frac{L \cdot F}{a_s \cdot \tan \theta} \quad (2.10)$$

$$F = \frac{V^2}{g \cdot y_d} \quad (2.11)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.12)$$

$$\tan \theta = \frac{B_1}{\frac{B_1}{\tan \theta_0} + a_s} \quad (2.13)$$

em que:

- $\theta$  representa o ângulo que o plano do pavimento na depressão forma com o plano vertical, ou seja, com o lancil do passeio, em graus;
- $y_d$  corresponde à altura de escoamento considerando a existência de depressão, imediatamente a montante da abertura da sarjeta de passeio, em m;
- $V$  representa a velocidade média de escoamento na mesma secção que se considera a altura de escoamento  $y_d$ , em m/s;
- $B_1$  corresponde à largura da depressão da sarjeta, em m.

As restantes têm o significado físico anteriormente referido.

A altura de escoamento  $y_d$ , no caso de se estar perante uma valeta com depressão, é determinada recorrendo a um processo iterativo (Sousa and Matos n.d.). Assim, para o caso de o dispositivo intercetor ser uma sarjeta, tem-se que:

$$\frac{Q_0^2}{2g \cdot A_{y_0}^2} + y_0 + a_s = \frac{Q_0^2}{2g A_{y_d}^2} + y_d \quad (2.14)$$

em que:

- $A_{y_0}$  e  $A_{y_d}$  representam, respetivamente, as secções de escoamento correspondentes à altura do regime uniforme  $y_0$  (sem a existência de depressão) e à altura  $y_d$  (considerando a existência de depressão), em m<sup>2</sup>;

- $Q_0$  corresponde ao caudal afluyente ao dispositivo, em  $m^3/s$ .

Os outros parâmetros apresentam o significado já indicado. Note-se que esta equação deriva do teorema de Bernoulli generalizado entre as secções que se situam imediatamente a montante da depressão (lado direito da equação (2.14)) e imediatamente a montante da sarjeta (lado esquerdo da mesma equação), admitindo-se que, entre estes trechos, a perda de carga unitária é igual à do regime uniforme a montante (Sousa and Matos n.d.).

### **Caso 2: $L_2 = 4a$ e/ou $a \neq b$**

Na situação em que não seja cumprida pelo menos uma das relações estipuladas no Caso 1, admite-se que o parâmetro  $C_{sarjeta\_2}$  seja obtido recorrendo à expressão (2.15) (Sousa and Matos n.d.):

$$C_{sarjeta\_2} = \frac{0,45}{1,12N} \quad (2.15)$$

$$N = \frac{L \cdot F}{a' \cdot \tan \theta} \quad (2.16)$$

$$a' = \frac{b - J \cdot L_2}{1 - 4J} \quad (2.17)$$

## **2.2.4 Sumidouros**

Os sumidouros, como já foi mencionado em capítulos anteriores, são dispositivos que permitem a recolha de água, os quais apresentam uma caixa coberta por uma ou mais grades (no caso de apresentarem duas grades designam-se sumidouros duplos) por onde se dá a entrada de água captada (Sousa and Matos n.d.). Na Figura 2.7 apresenta-se um esquema de um sumidouro simples sem depressão (Sousa and Matos n.d.).

O dimensionamento hidráulico destes dispositivos interceptores deverá ter em conta o impacto das seguintes parcelas do escoamento na eficiência hidráulica dos mesmos (Sousa and Matos n.d.):

- escoamento entre a primeira abertura da grelha e o passeio, em  $m^3/s$  ( $q_1$ );
- escoamento exterior à grelha, pelo arruamento, em  $m^3/s$  ( $q_2$ );
- escoamento sobre a própria grelha, o qual prosseguirá para jusante, em  $m^3/s$  ( $q_3$ ).

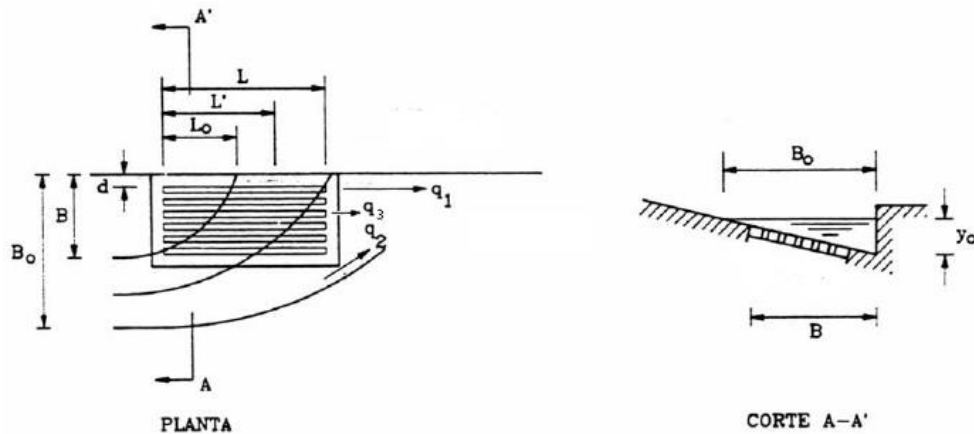


Figura 2.7 - Representação esquemática de um sumidouro sem depressão (adaptado de (Matos 2006))

Na situação de se estar perante o dimensionamento de um destes dispositivos, é consensual a consideração da parcela  $q_3$  igual a zero. Para tal, é necessário considerar um comprimento da grade,  $L_{grade}$ , tal que seja possível captar todo o caudal que sobre ela escoar, ou seja, que  $L_0 < L$  (Sousa and Matos n.d.). No entanto, no âmbito desta dissertação, será considerada a possibilidade desta parcela ter valores superiores a zero, ou seja, de interferir na eficiência hidráulica destes dispositivos.

Assim, o cálculo do caudal captado, tanto em sumidouros com e sem depressão é dado pela equação (2.18) (Sousa and Matos n.d.):

$$Q_{captado} = Q_0 - q \quad (2.18)$$

onde  $Q_{captado}$  se refere ao caudal captado pelo sumidouro, em  $m^3/s$ ,  $Q_0$  o caudal afluyente e  $q$  referente à soma das parcelas do escoamento não captadas ( $q_1$ ,  $q_2$  e caso se considere,  $q_3$ ), em  $m^3/s$ .

O primeiro passo para a determinação do caudal captado num sumidouro sem depressão é a determinação da altura uniforme de escoamento a montante desse mesmo dispositivo que é dado pela equação (2.6), bem como a velocidade média de escoamento, determinada recorrendo à equação (2.12) (Sousa and Matos n.d.).

De seguida, determina-se a altura de escoamento associado ao comprimento crítico,  $y'$ , através da equação (2.19) (Sousa and Matos n.d.):

$$y' = y_0 - \frac{B}{\tan \theta_0} \quad (2.19)$$

onde:

- $y_0$  tem o significado já referido;
- $B$  corresponde ao somatório da largura da grelha do sumidouro com  $d$  (distância entre a primeira abertura da grelha e o lancil do passeio), ambos em m;
- $\theta_0$  a tangente que o plano do arruamento forma com o plano vertical, em graus.

Depois de determinado o parâmetro  $y'$ , é então possível calcular o comprimento crítico do sumidouro,  $L'$ , através da equação (2.20) (Sousa and Matos n.d.):

$$L' = 1,2 \cdot \tan \theta_0 \cdot V_0 \cdot \left(\frac{y'}{g}\right)^{1/2} \quad (2.20)$$

onde  $V_0$  corresponde à velocidade de escoamento, em m/s.

Os restantes parâmetros têm o significado já indicado. Assim, é então possível obter os parâmetros  $q_1$  e  $q_2$  do escoamento, recorrendo para tal às seguintes equações (Sousa and Matos n.d.):

$$q_1 = 6,0 \left[ V_0^2 \cdot d^3 \cdot \left(\frac{y_0}{g}\right)^{1/2} \cdot \frac{1}{L^2} \right] \quad (2.21)$$

$$q_2 = \left[ \frac{L' - L}{4} \right] \cdot g^{1/2} \cdot y'^{3/2} \quad (2.22)$$

em que  $d$  corresponde à distância entre o lancil e a primeira abertura da grelha, em m.

Tendo o resultado das equações anteriores, é assim possível obter o escoamento não captado pelo dispositivo intercetor em questão da seguinte forma (Sousa and Matos n.d.):

$$q = q_1 + q_2 \quad (2.23)$$

Como já foi referido, em projeto, é usual o dimensionamento deste tipo de dispositivos tendo em conta que  $L < L_0$  (comprimento necessário para a captação do caudal que passa na grelha), ou seja, que a parcela  $q_3$  é nula. No entanto, considerando que  $L \geq L_0$ , vem (Hsiung Li, Geyer, and Benton 1951; Lima 2007; Sousa and Matos n.d.) :

$$L_0 = m \cdot V_0 \cdot \left(\frac{y_0}{g}\right)^{1/2} \quad (2.24)$$

$$q_3 = Q_0 \cdot \left(1 - \frac{L^2}{L_0^2}\right)^2 \quad (2.25)$$

onde:

- $q_3$  corresponde à parcela do escoamento sobre a própria grade, que ultrapassa a grelha, em  $m^3/s$ ;
- $L$  é o comprimento útil da grelha, em m.

Assim sendo, nestas circunstâncias, o caudal captado pelo sumidouro passa a ser (Lima 2007):

$$q = q_1 + q_2 + q_3 \quad (2.26)$$

No caso de se estar perante uma valeta com depressão (Figura 2.8), o cálculo da capacidade destes dispositivos sofre ligeiras alterações. O cálculo da altura de escoamento uniforme junto ao sumidouro, nesta situação particular, é determinado recorrendo à equação (2.27) (Sousa and Matos n.d.):

$$y_d = h_{depressão} + y_0 \quad (2.27)$$

onde:

- $h_{depressão}$  referente à altura da depressão no sumidouro, em m;

- $y_0$  a altura de escoamento uniforme a montante do sumidouro, em m.

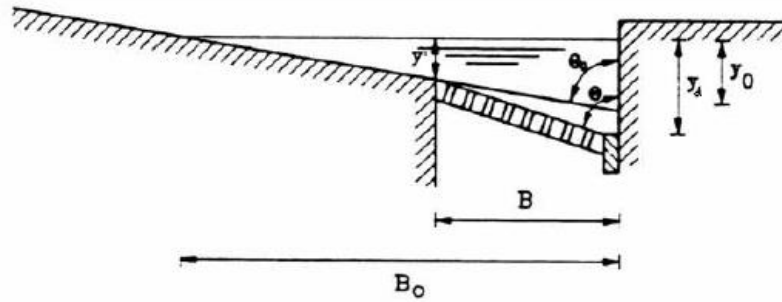


Figura 2.8 - Representação esquemática de um sumidouro com depressão (adaptado de (Matos 2006))

Por outro lado, torna-se necessária a determinação do ângulo da depressão a qual é obtida recorrendo à equação (2.28) (Sousa and Matos n.d.):

$$\tan \theta = \frac{B}{h_{depressão} + B/\tan \theta_0} \quad (2.28)$$

As equações seguintes permitem obter a capacidade de vazão dos sumidouros implantados em valetas com depressão (Sousa and Matos n.d.):

$$A_0 = \frac{B^2}{2 \tan \theta} + y'(B + \frac{y' \tan \theta_0}{2}) \quad (2.29)$$

$$V_0 = \frac{Q_0}{A_0} \quad (2.30)$$

$$L_0 = m \cdot V_0 \cdot \left(\frac{y_d}{g}\right)^{1/2} \quad (2.31)$$

$$q_1 = 6,0 \left[ V_0^2 \cdot d^3 \cdot \left(\frac{y_d}{g}\right)^{1/2} \cdot \frac{1}{L^2} \right] \quad (2.32)$$

onde  $m$  é uma constante empírica, cujo valor deve ser igual a 4 no caso de a grelha do sumidouro não apresentar barras transversais e 8 no caso de apresentar 3 destas barras. As restantes equações não sofrem alterações em relação ao método descrito anteriormente (Sousa and Matos n.d.).

## 2.2.5 Combinação sumidouro e sarjeta

Tal como a designação sugere, este dispositivo é constituído pela combinação de um sumidouro e de uma sarjeta, tal como se exemplifica na Figura 2.9. A implementação deste tipo de dispositivos apresenta a vantagem de se poder colmatar as desvantagens, tanto dos sumidouros como das sarjetas: eficiências substanciais combinadas com menores probabilidades de obstruções (Brown et al. 2013; Thomason 2019b).

A determinação da eficiência hidráulica deste dispositivo pode ser feita considerando apenas a eficiência do sumidouro, como é sugerido em (Guo and MacKenzie 2012) e (Thomason 2019b), por uma questão de simplificação. No entanto, nesta dissertação, ter-se-á em conta a existência da sarjeta, considerando que, primeiramente, o caudal afluyente será captado pelo sumidouro e o restante será captado pela sarjeta.



Figura 2.9 - Combinação de sumidouro e sarjeta (Fonte: (ADS 2020))

## 2.3 Modelação Dinâmica de Comportamento de Sistemas de Drenagem Urbana

### 2.3.1 Considerações Iniciais

Os avanços tecnológicos registados nas últimas décadas permitiram, aos investigadores e projetistas, a utilização de computadores e uma melhoria substancial dos métodos computacionais. Neste âmbito, surgiram modelos dinâmicos de simulação de desempenho de sistemas de drenagem urbana (Chow, Maidment, and Mays 1988). Assim, para a avaliação de riscos e consequências de inundações em meio urbano, é usualmente utilizada a modelação hidráulica como ferramenta de apoio na gestão dos riscos de inundações (Coutinho 2015), não só para o dimensionamento de novos sistemas, como também para a análise dos já existentes (Girão 2014).

Nos sistemas de drenagem de águas pluviais, os modelos computacionais geralmente podem ser divididos em três módulos: o módulo hidrológico, que quantifica o escoamento superficial através da transformação da precipitação em escoamento superficial, tendo por base as características das bacias de drenagem; o módulo hidráulico, que representa o percurso da água na rede de coletores ou canais e que tem por base os resultados obtidos no módulo hidrológico; e o módulo da qualidade da água, que permite analisar a carga de poluentes presentes na água (Debo and Reese 2002; Girão 2014).

Nesta dissertação, serão abordados os temas do modelo hidrológico e modelo hidráulico como instrumentos de simulação de desempenho de sistemas de drenagem urbanos em tempo de chuva, dando ênfase à interligação com os dispositivos interceptores.

Os modelos hidrológicos recorrem a dados da precipitação, da geometria, da morfologia e de características hidrográficas das bacia afluentes ao sistema em análise para avaliar o seu funcionamento (SISAQUA and CENOR 2007; Tucci 1998). Uma vez que estes modelos permitem a análise do escoamento superficial, adquirem especial importância por possibilitarem a obtenção de



dados relativos a caudais de ponta e volume escoado para uma determinada precipitação (*input* do modelo) e para um dado período de retorno (Estellés 2010; Marques et al. 2013).

No contexto dos modelos hidrológicos que permitem a estimativa de caudais de escoamento, salientam-se os mais atualizados (Leitão, Matos, and Maksimovic 2008; Matias 2016): Método Racional Generalizado, Método do Hidrograma Unitário, Método Curva Tempo-Área e Modelos de Reservatórios.

O Método Racional Generalizado é um modelo largamente utilizado em Portugal. Será utilizado no contexto desta dissertação. Os restantes, por não fazerem parte do âmbito desta dissertação, não serão abordados.

Para a simulação computacional de fenómenos de cheias e de redes de drenagem urbana, a consideração conjunta de modelos hidrológicos e de modelos hidráulicos é essencial, permitindo a simulação de eventos futuros, com um número limitado de dados de entrada (Collischonn, Collischonn, and Tucci 2008; Monte et al. 2016). A relação entre as múltiplas fases da modelação encontra-se na Figura 2.10.

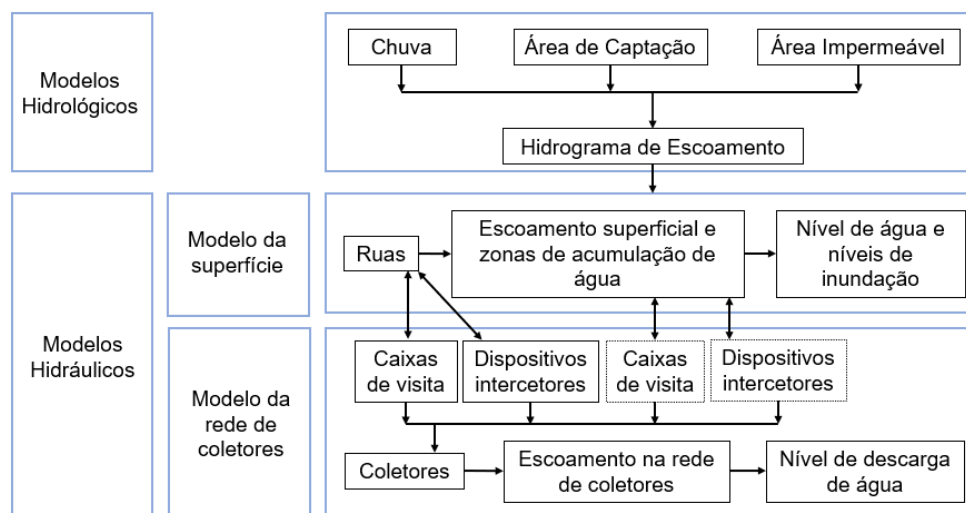


Figura 2.10 - Relação entre as diversas fases da modelação hidrológica e hidráulica (adaptado de (Mark et al. 2004))

Os modelos hidráulicos permitem ao utilizador a representação dos fenómenos inerentes à propagação do escoamento na rede de drenagem, até ao seu destino final (Matias 2016). Estes modelos adquirem especial importância uma vez que permitem a avaliação do comportamento de como um sistema de drenagem reage a diversos cenários, tais como situações extremas (Marques et al. 2013). No caso dos modelos hidráulicos, o *output* do modelo hidrológico é o *input* do modelo hidráulico (Clemens 2001).

As leis matemáticas que servem de base para os modelos hidráulicos têm origem na integração vertical das equações de Navier-Stokes, nas quais se considera que (Machado 2013):

- a componente da velocidade e aceleração no eixo vertical são desprezáveis;
- a pressão é hidrostática;

- o fundo é fixo com reduzida inclinação;
- a velocidade horizontal é constante na vertical;
- os efeitos de turbulência e das tensões tangenciais podem ser considerados de uma forma agregada.

Assim, com recurso aos modelos hidrológicos e hidráulicos é possível modelar as redes de drenagem e fenómenos de cheias, com maior ou menor complexidade. Neste âmbito, surge a temática da modelação unidimensional e modelação dual, que serão aprofundados nas secções seguintes.

### 2.3.2 Modelos 1D

A dificuldade inerente à criação de modelos fiéis ao comportamento dos sistemas de drenagem urbana advém do facto de o caudal apresentar variações ao longo do tempo, as quais são intensificadas em situações de precipitação intensa, originando inundações, alterações do sentido do escoamento, efeitos de jusante (como a maré) e existência de escoamento sob pressão (Marques et al. 2013). Assim, uma vez que a modelação de um sistema de drenagem urbana exige a consideração de um grande número de variáveis, poderá ser interessante, em determinados contextos, recorrer a modelos simplificados de fenómenos com grande complexidade, considerando apenas os fenómenos de maior relevância e desprezando os que, tendo em mente o objetivo da modelação, se assumem secundários (Santos and Hipolito 2005). É neste âmbito que surge o conceito de modelação unidimensional.

A modelação unidimensional de um sistema de drenagem urbana assenta nas seguintes premissas: os dados de *input* (precipitação) permitem a geração de hidrogramas de escoamento que, por sua vez, geram o caudal que deverá ser transportado na íntegra pela rede de coletores. Caso não exista capacidade de admissão desse caudal, por exemplo na ocorrência de fenómenos de precipitação intensa, o sistema poderá entrar em carga, ou seja, o coletor atinge a sua capacidade máxima, passando o escoamento a funcionar em pressão (Mark et al. 2004; Marques et al. 2013). Assim, passam a coexistir dois tipos de escoamento no mesmo coletor: superfície livre e escoamento em pressão (Marques et al. 2013). Em determinadas situações, parte desse caudal sairá da rede de drenagem, contribuindo assim para o aumento do escoamento superficial (Mark et al. 2004). Na Figura 2.11 encontra-se um fluxograma representativo das diversas fases da modelação 1D.

Nestas circunstâncias, é crucial aferir a existência deste fenómeno na modelação das redes de drenagem, uma vez que os sistemas em carga são indicadores do limite dos coletores (Marques et al. 2013). Para tal, é possível recorrer ao conceito da fenda de Priessmann, onde se assume que o coletor pode ser convertido num canal em superfície livre, através da introdução de uma fenda imaginária ao longo de todo o seu comprimento, tal como se representa na Figura 2.12 (Butler and Davies 2004; Yen and Pansic 1980).

A representação dos fenómenos inerentes à passagem do escoamento superficial para a rede de coletores é extremamente importante por permitir a minimização de fenómenos de cheia e a melhoria dos sistemas de drenagem urbana (Senior, Scheckenberger, and Bishop 2018). No entanto, uma das simplificações da modelação unidimensional é o facto de não se ter em conta a capacidade dos

dispositivos interceptores (Beceiro 2016). Assim, para a modelação da entrada do caudal na rede de coletores, considera-se que o caudal referente a uma determinada bacia se processa por um único (Rossman 2015).

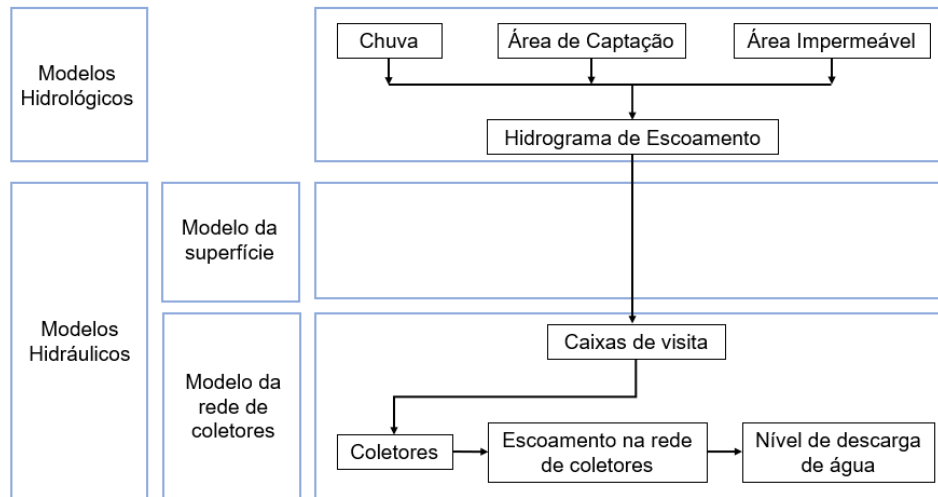


Figura 2.11 - Representação das diversas fases da modelação 1D (adaptado de (Mark et al. 2004))

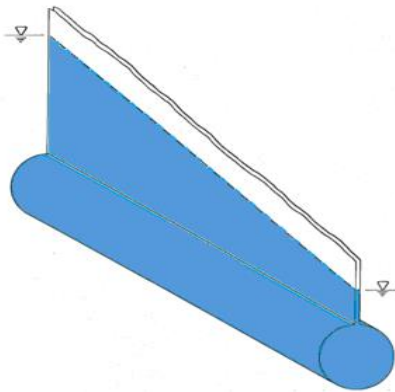


Figura 2.12 - Representação esquemática da fenda de Preissmann (adaptado de (Yen and Pansic 1980))

Na modelação unidimensional, no caso de a capacidade do coletor ser excedida, podem ser consideradas três hipóteses: a água que chega à superfície é perdida (Figura 2.13 a)), a altura da água aumenta infinitamente (Figura 2.13 b)) e a consideração de um reservatório fictício que armazena temporariamente a água que chega à superfície (Figura 2.13 c)) (Vairinhos 2017).

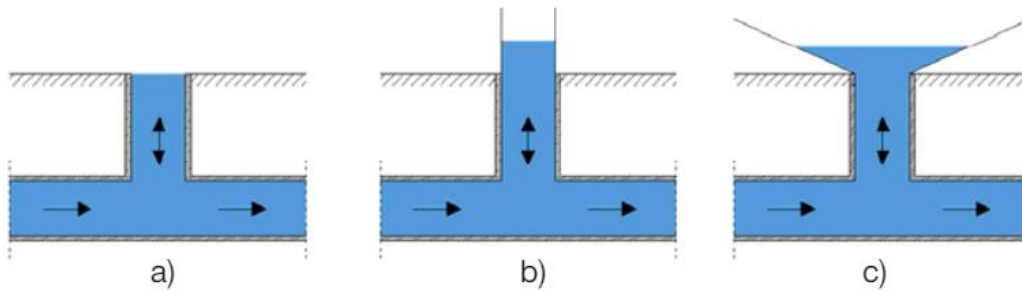


Figura 2.13 - Soluções tradicionais em caso de sistema em sobrecarga: a) água que atinge a superfície perde-se; b) aumento da altura da água infinitamente; c) considerar reservatório virtual que armazena temporariamente a água que atinge a superfície (adaptado de (Marques et al. 2013))

Com as soluções apresentadas na figura anterior, verifica-se que a interação entre o escoamento superficial e o escoamento na rede de coletores é essencial para uma representação fiável da realidade (Marques et al. 2013). Assim, poderá ser interessante recorrer a modelos bidimensionais quando de pretende aferir o impacto de inundações à superfície, uma vez que consideram variações de velocidade e profundidade do escoamento superficial, razão pela qual se torna relevante a modelação dual dos sistemas de drenagem pluvial, tal como se constata na Figura 2.14 (Marques et al. 2013; Ming and Chu 2000).

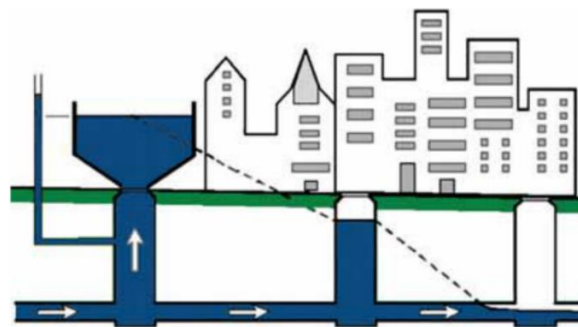


Figura 2.14 - Abordagem tradicional das câmaras de visita em meio urbano (adaptado de (Maksimović and Prodanović 2001))

### 2.3.3 Modelação dual

Na eventualidade de ocorrência de eventos extremos, a avaliação detalhada do comportamento das redes de drenagem pode apresentar uma importância crucial (Leitão et al. 2012) em particular para aferir efeitos decorrentes das alterações climáticas e do crescimento das grandes urbes, originando um aumento das área impermeáveis (Yang et al. 2020). Atualmente, existem modelos capazes de simular com muita precisão e próximos da realidade a rede de coletores. No entanto, o mesmo não acontece com o escoamento superficial, devido à complexidade inerente ao processo da simulação desta componente (Djordjević, Prodanović, and Maksimović 1999). Dada a interação entre todas as fases da modelação hidrológica e hidráulica na conceção de redes de drenagem, verifica-se que a simulação 1D apresenta diversas falhas no contexto da drenagem urbana, por não ter em conta o impacto do

escoamento superficial nos fenómenos de inundações (Barreiro et al. 2018). É nesta temática que surge o interesse de se considerar a abordagem dual.

A drenagem pluvial urbana pode ser definida da seguinte forma: uma parcela referente à rede de coletores, que pode ser designada por sistema secundário ou *minor* e uma parcela superficial, também designada por principal ou *major*, da qual fazem parte as ruas, canais, depressões e zonas de acumulação de água. Esta última garante que a componente do escoamento que não é possível ser transportada pela rede de coletores, nomeadamente em eventos de precipitação intensa, passa a ser transportada por este sistema (AMK Associates International Ltd. 2004; Djordjević et al. 1999). A ligação entre as duas parcelas é feita através dos sumidouros, sarjetas e caixas de visita, permitindo assim a entrada e saída de água (no caso do sistema secundário entrar em carga) da rede de coletores (Randall et al. 2017). O volume de água em excesso à superfície poderá ser acumulado em pontos baixos, ser infiltrado, entrar novamente no sistema de coletores ou originar escoamento superficial (Marques et al. 2013). O conceito de drenagem dual permite a modelação da interação existente entre os dois sistemas (Marques et al. 2013), tal como se representa na Figura 2.15.

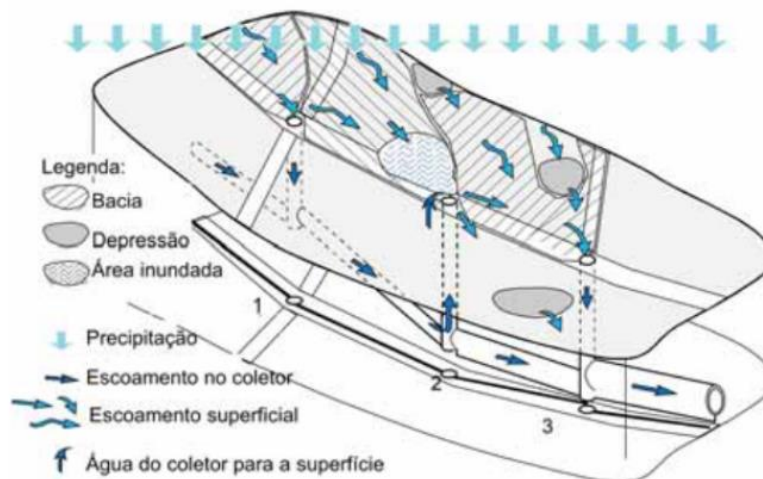


Figura 2.15 - Representação esquemática do conceito de drenagem dual (adaptado de (Djordjević et al. 1999))

Na modelação dual, podem ser consideradas duas abordagens distintas: uma considera um modelo unidimensional, tanto para a rede de coletores como para a representação do escoamento superficial (modelos 1D/1D); a outra abordagem implica a consideração de uma rede unidimensional para a rede de coletores e um modelo bidimensional para a representação da superfície (modelos 1D/2D). Na avaliação de um modelo 1D/1D, a superfície urbana é representada através de redes de canais abertos e zonas de acumulação de água ligados ao sistema de coletores através de nós. Na avaliação do modelo 1D/2D, a identificação dos canais superficiais e das zonas de acumulação de água deixa de ser necessária. Importa referir que, em ambos os casos, a modelação das redes de coletores e da rede superficial é efetuada simultaneamente (Marques et al. 2013).

Os modelos 1D/1D constituem uma ferramenta útil quando se trata de canais bem definidos e em situações onde é possível garantir que a água permanece no interior do perfil do arruamento. (Mark et

al. 2004). No entanto, no caso de não se poder garantir que a água permaneça nos limites da rua, o escoamento pode tornar-se multidirecional, passando a ser mais adequado recorrer a modelos 1D/2D (Allitt et al. 2009). O recurso a este tipo de modelos, onde é necessária a capacidade de modelar escoamentos em superfície livre e em sobrecarga, implica um suporte informático com dados relativos a uso do solo, percursos para o escoamento superficial e ligações entre as zonas de armazenamento, para além dos dados necessários na modelação 1D/1D. (Marques et al. 2013). Na Figura 2.16 ilustra as diversas fases da modelação dual.

Apesar de a modelação dual resolver a problemática associada à não consideração da interação entre o transporte em coletores e o escoamento superficial, não resolve o problema de não se considerar a eficácia dos dispositivos de entrada (Jang, Chang, and Chen 2018), que será aprofundada nesta dissertação e que se pretende validar experimentalmente.

Atualmente, não existem softwares gratuitos que permitam a modelação integrada de coletores (1D) e dos fenómenos do escoamento superficial (2D) (Leandro and Martins 2016), pelo que se torna essencial a criação de ferramentas que permitam, tanto quanto possível, a representação desta interação com os *softwares open-source* disponíveis.

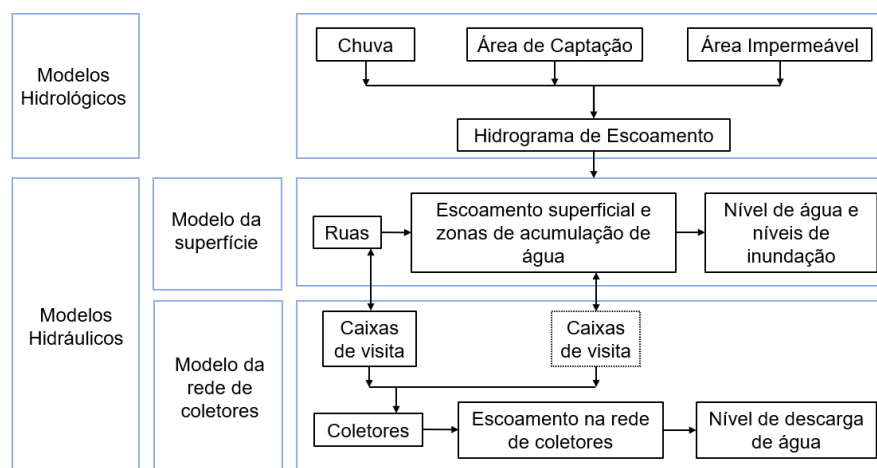


Figura 2.16 - Representação das diversas fases da modelação dual (adaptado de (Mark et al. 2004))

Na presente dissertação, será abordada a temática em modelos unidimensionais, com recurso ao *software* SWMM.

### 2.3.4 Storm Water Management Model (SWMM)

O Storm Water Management Model (SWMM) é um *software* gratuito desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA), com uma utilização muito generalizada na modelação da qualidade e quantidade do escoamento urbano (Barreiro 2017; Niazi et al. 2017; Rossman 2015).

O SWMM permite simular eventos de precipitação e escoamento pontuais ou contínuos para sistemas unitários separativos e mistos (Barreiro 2017; Shahed Behrouz et al. 2019). O *software*, para além de fornecer dados relativos ao caudal, permite ainda a determinação da altura de escoamento e da

qualidade da água durante o tempo de simulação e para um determinado canal ou coletor (Rossman 2015).

Este programa foi desenvolvido em 1971 e atualmente apresenta-se na Versão 5.1.015 (Barreiro 2017). Esta atualização permite modelar diversos processos hidráulicos, tais como precipitação variável no tempo, evaporação, acumulação e derretimento de neve, acumulação de caudal em depressões, infiltração em solos não saturados, percolação de água infiltrada, interação entre água subterrânea e os sistemas de drenagem existentes nas proximidades, entre outros. (Barreiro 2017; Rossman 2015).

O *software* permite também a modelação de sistemas de drenagem com redes de comprimento ilimitado, com inúmeras possibilidades para a secção transversal dos canais e condutas, modelar órgãos especiais (unidades de armazenamento e/ou tratamento, distribuidores de caudal, bombas, descarregadores e orifícios), aplicar caudais externos e características de qualidade da água, caudais de tempo seco e outros caudais afluentes à rede, modelar diversos regimes de escoamento (águas estagnadas, entradas de água, contra-escoamento e acumulação à superfície), aplicar regras de controlo, definidas pelo utilizador, com o intuito de simular a operação de bombas, abertura de orifícios, entre outros (Barreiro 2017; Rossman 2015). Para além disto, o SWMM permite obter uma estimativa da produção de cargas poluentes associadas ao escoamento através da introdução de dados referentes à qualidade da água, os quais são definidos pelo utilizador (Rossman 2015).

A conceptualização do sistema de drenagem neste *software* implica a consideração de quatro grandes compartimentos (Barreiro 2017; Rossman 2015):

- compartimento Atmosfera, onde é gerada a precipitação e poluentes, os quais serão depositados no compartimento Escoamento Superficial. Para a representação do caudal pluvial que dará entrada no sistema, o SWMM utiliza o objeto *rain gage* (pluviómetro);
- compartimento Escoamento Superficial, representado por um ou mais *subcatchments* (sub-bacias). Este compartimento recebe os caudais pluviais do Compartimento Atmosfera sob a forma de chuva ou neve e encaminha o escoamento para o compartimento Água Subterrânea (sob a forma de infiltração) e para o compartimento Transporte (na forma de escoamento superficial e carga de poluentes);
- compartimento Água Subterrânea, que recebe o caudal infiltrado do compartimento Superfície e transfere uma parte deste para o compartimento Transporte. Este compartimento é modelado por objetos do tipo *aquifer* (aquífero);
- compartimento Transporte, que apresenta uma rede de elementos de ligação (canais, condutas, bombas e reguladores de caudal) e de unidades de armazenamento e tratamento que transportam a água para emissários ou estações de tratamento. Os caudais afluentes a este compartimento podem ser provenientes do escoamento superficial, trocas com águas subterrâneas, caudais de tempo seco, ou de hidrogramas definidos pelo utilizador. As componentes deste compartimento são modeladas recorrendo a objetos do tipo *node* (nó) e *link* (ligação).

Refira-se que para a definição de um modelo válido não é necessária a definição de todos estes compartimentos (Rossman 2015).

A modelação de um determinado sistema no SWMM implica recorrer a princípios de conservação de massa, energia e momento sempre que seja apropriado. Os métodos aplicados para o cálculo dos processos físicos mais relevantes são (Barreiro 2017; Rossman 2015):

- escoamento superficial, onde as sub-bacias são abordadas como reservatórios não lineares. O escoamento pode ter origem na precipitação e no caudal afluente de bacias a montante e a saída pode ser efetuada através de infiltração, evaporação e escoamento superficial. O escoamento superficial, dado pela equação de Manning, ocorre quando a altura de água do “reservatório” ( $d$ ) excede a altura de armazenamento máxima ( $d_s$ ). A altura de água é continuamente atualizada no tempo através de um balanço hídrico da sub-bacia. Na Figura 2.17 encontra-se uma representação da formação deste processo físico;

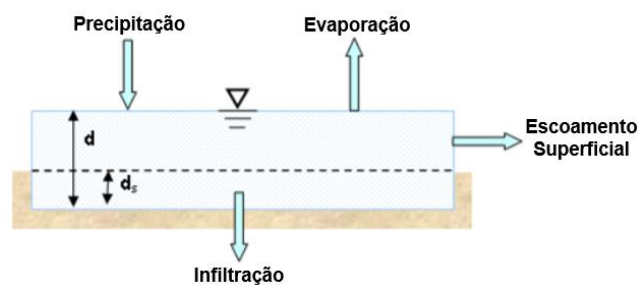


Figura 2.17 - Representação conceptual da formação de escoamento superficial no modelo (adaptado de (Rossman 2015))

- infiltração, que consiste na penetração de água nas zonas insaturadas do solo nas áreas permeáveis das sub-bacias;
- escoamento no subsolo (águas subterrâneas), onde é assumido que a zona superficial do solo está insaturada e que a zona mais profunda está saturada;
- escoamento na rede de drenagem, onde o escoamento nas condutas é modelado pelas equações de conservação de massa e momento para escoamentos variáveis e gradualmente variados.

Assim, o modelo SWMM permite obter resultados bastante satisfatórios do comportamento de uma rede de drenagem pluvial, com recurso à visualização de plantas ou de um perfil de um determinado trecho, desde que exista cadastro completo e atualizado da rede e um suporte informático com dados relativos à ocupação do solo, em especial à proporção entre áreas impermeáveis e permeáveis (Barreiro 2017).



# 3 METODOLOGIA DE CÁLCULO AUTOMÁTICO DA EFICIÊNCIA HIDRÁULICA DOS DISPOSITIVOS DE INTERSEÇÃO

## 3.1 Considerações Iniciais

A aplicação da ferramenta de cálculo desenvolvida a partir das equações abordadas no subcapítulo 2.2 permite obter estimativas da eficiência hidráulica dos dispositivos interceptores em análise. Assim, neste capítulo, será desenvolvida a metodologia de cálculo para obtenção da eficiência hidráulica dos seguintes dispositivos: sumidouros, entre os quais se incluem sumidouros simples (com uma grade) e sumidouros duplos (com duas grades), os quais ainda poderão ou não apresentar depressão; sarjetas, que poderão ser implantadas sem ou com depressão (podendo, nesta última situação haver duas alternativas possíveis, como já foi anteriormente mencionado) e ainda a combinação de sumidouro e sarjeta, sendo igualmente possível a sua implantação com ou sem depressão.

A aplicação desta metodologia foi feita recorrendo ao *software* Microsoft Excel. Desta forma, através da introdução das variáveis geométricas necessárias à determinação da eficiência hidráulica, aprofundadas neste subcapítulo, foi possível a obtenção de matrizes e ábacos de eficiência para cada um dos dispositivos acima referidos. É ainda possível, com a inserção do caudal afluente ao dispositivo e a inclinação longitudinal do arruamento, a obtenção da eficiência expectável para o dispositivo de interceção nestas mesmas condições. Refere-se que a eficiência dos dispositivos de entrada foi analisada para valores do caudal afluente entre 0,005 e 0,1 m<sup>3</sup>/s e da inclinação longitudinal do arruamento compreendidos entre 0,005 e 0,1 m/m. Na Figura 3.1 encontra-se um exemplo do ábaco para um sumidouro simples sem depressão, bem como dos dados a inserir para a sua obtenção.

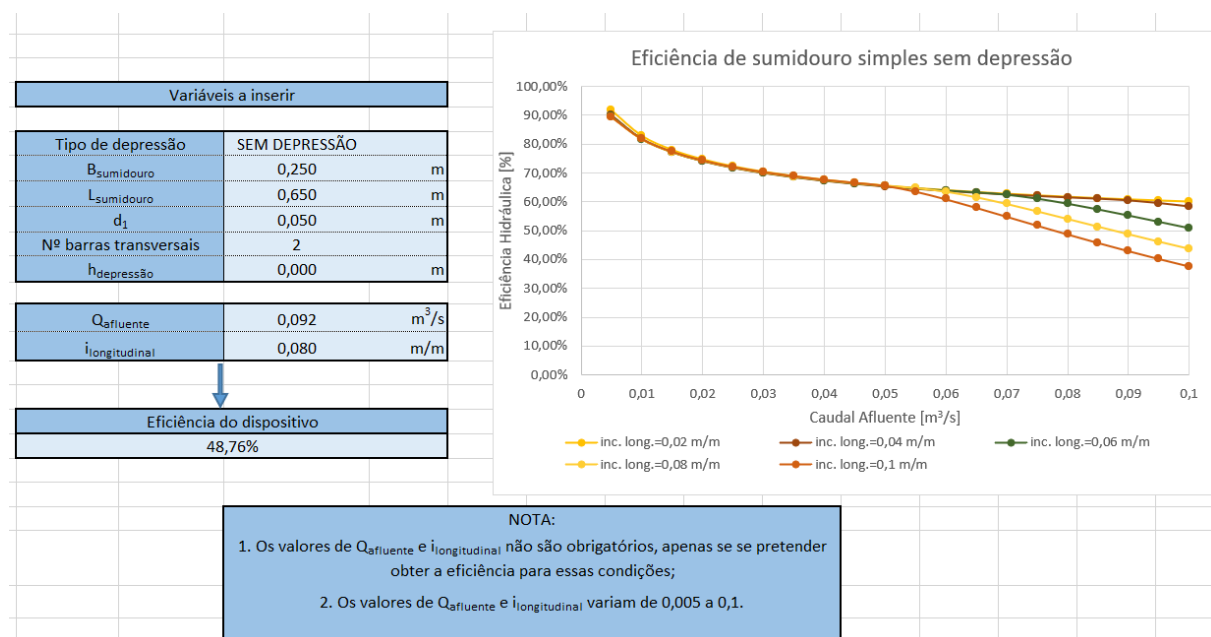


Figura 3.1 – Determinação da eficiência de um sumidouro simples sem depressão recorrendo à metodologia abordada no subcapítulo 2.2

Para a escolha das medidas a adotar, tanto nos sumidouros simples como nos duplos, foi consultado o catálogo disponível na página *web* da empresa Fucoli-Somepal S.A., por forma a considerar valores realísticos para estes dispositivos. No Anexo A, é possível consultar o dito catálogo. Para o caso das sarjetas, procedeu-se à medição de múltiplos exemplos deste tipo de dispositivos e considerou-se, à semelhança dos casos anteriores, valores razoáveis para os mesmos. As características geométricas adotadas para a criação dos ábacos encontram-se em Anexo B.

Para além dos atributos geométricos dos dispositivos interceptores, existem determinadas características do arruamento que interferem na eficiência hidráulica dos mesmos, dos quais se destacam:

- inclinação longitudinal do arruamento: parâmetro que influencia a altura de escoamento na valeta. Note-se que, para escoamento com superfície livre, com regime uniforme, como é o caso, pode-se assumir que a perda de carga é aproximadamente igual à inclinação longitudinal ( $J \approx i_{\text{longitudinal}}$ ) (Rebelo 2015);
- inclinação transversal do arruamento: permite calcular o ângulo que o plano do pavimento forma com o plano vertical do lancil do passeio. Para este parâmetro, considerou-se razoável o valor de 0,025 m/m (InIR 2010);
- coeficiente de rugosidade de Manning do pavimento do arruamento: como já foi referido na secção 2.2.2, foi considerado o valor 0,015 m<sup>1/3</sup>/s para este parâmetro.

No final deste capítulo, será feita uma análise comparativa entre a eficiência das diferentes soluções encontradas.

## **3.2 Configuração dos dispositivos de interceção considerados e desenvolvimento de ferramenta de cálculo**

### **3.2.1 Sarjetas de passeio**

Para a determinação da eficiência hidráulica dos sumidouros simples, houve necessidade de definir determinadas variáveis. No caso de se estar perante uma sarjeta sem depressão, a eficiência do dispositivo é influenciada pelo comprimento da boca da sarjeta de passeio, uma vez que esta variável influencia diretamente o caudal captado destes dispositivos. Note-se que, para além das variáveis associadas ao arruamento, esta é a única que interfere na eficiência deste tipo de dispositivos. Mencione-se ainda que influencia também os dois tipos de sarjetas com depressão.

Na presença de uma sarjeta com depressão, as variáveis que interferem na eficiência hidráulica destes dispositivos, para além da acima referida, são:

- altura da depressão a montante e a jusante ( $a_s$  e  $b_s$ , respetivamente): apesar de a altura de depressão a jusante não interferir no valor do caudal captado, o seu valor, juntamente com os valores da altura de depressão a montante e dos comprimentos dos troços a montante e

jusante da depressão, permite a definição do tipo de sarjeta; por outro lado, a altura da depressão a montante irá influenciar a dita eficiência em ambas as situações;

- comprimento do troço a montante e jusante da depressão ( $L_1$  e  $L_2$ , respetivamente): o comprimento do troço a montante da depressão, tal como sucede com a altura de depressão a jusante, não interfere diretamente no valor da eficiência hidráulica destes dispositivos, permitindo apenas a escolha do tipo de sarjeta com depressão; por outro lado, o comprimento do troço a jusante da depressão irá interferir na eficiência das sarjetas com depressão do tipo 2;
- largura da depressão da sarjeta ( $B_1$ ): a largura da depressão da sarjeta influencia o ângulo referente à depressão, interferindo assim na eficiência dos dois tipos de sarjetas com depressão.

Em Anexo C encontra-se um exemplo de tabela utilizada para o cálculo da eficiência hidráulica de uma sarjeta, realçando que esta apenas se refere a um determinado caudal afluente. No entanto, a determinação da altura de escoamento a montante do dispositivo requer a implementação de um processo iterativo, o qual que encontra representado em Anexo D. De seguida apresentam-se as matrizes de eficiência para o caso de não possuir depressão e para o caso de possuir depressão do tipo 1.

Tabela 3.1 - Matriz eficiência de sarjeta de lancil sem depressão

$i_{long}$ [m/m] \ $Q_{aff}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095	0,100
0,005	38,3 %	28,3 %	23,7 %	20,9 %	19,0 %	17,5 %	16,4 %	15,4 %	14,7 %	14,0 %	13,4 %	12,9 %	12,5 %	12,1 %	11,7 %	11,4 %	11,1 %	10,8 %	10,6 %	10,3 %
0,010	31,6 %	23,3 %	19,5 %	17,2 %	15,6 %	14,4 %	13,5 %	12,7 %	12,1 %	11,5 %	11,1 %	10,6 %	10,3 %	9,9 %	9,6 %	9,4 %	9,1 %	8,9 %	8,7 %	8,5 %
0,015	28,2 %	20,8 %	17,4 %	15,3 %	13,9 %	12,9 %	12,0 %	11,3 %	10,8 %	10,3 %	9,9 %	9,5 %	9,2 %	8,9 %	8,6 %	8,4 %	8,2 %	7,9 %	7,8 %	7,6 %
0,020	26,0 %	19,2 %	16,1 %	14,2 %	12,8 %	11,9 %	11,1 %	10,5 %	9,9 %	9,5 %	9,1 %	8,8 %	8,5 %	8,2 %	7,9 %	7,7 %	7,5 %	7,3 %	7,2 %	7,0 %
0,025	24,4 %	18,0 %	15,1 %	13,3 %	12,1 %	11,1 %	10,4 %	9,8 %	9,3 %	8,9 %	8,5 %	8,2 %	7,9 %	7,7 %	7,5 %	7,2 %	7,1 %	6,9 %	6,7 %	6,6 %
0,030	23,2 %	17,1 %	14,3 %	12,6 %	11,5 %	10,6 %	9,9 %	9,3 %	8,9 %	8,5 %	8,1 %	7,8 %	7,5 %	7,3 %	7,1 %	6,9 %	6,7 %	6,5 %	6,4 %	6,2 %
0,035	22,2 %	16,4 %	13,7 %	12,1 %	11,0 %	10,1 %	9,5 %	8,9 %	8,5 %	8,1 %	7,8 %	7,5 %	7,2 %	7,0 %	6,8 %	6,6 %	6,4 %	6,3 %	6,1 %	6,0 %
0,040	21,4 %	15,8 %	13,2 %	11,6 %	10,6 %	9,8 %	9,1 %	8,6 %	8,2 %	7,8 %	7,5 %	7,2 %	7,0 %	6,7 %	6,5 %	6,4 %	6,2 %	6,0 %	5,9 %	5,8 %
0,045	20,7 %	15,3 %	12,8 %	11,3 %	10,2 %	9,4 %	8,8 %	8,3 %	7,9 %	7,5 %	7,2 %	7,0 %	6,7 %	6,5 %	6,3 %	6,1 %	6,0 %	5,8 %	5,7 %	5,6 %
0,050	20,1 %	14,8 %	12,4 %	10,9 %	9,9 %	9,2 %	8,6 %	8,1 %	7,7 %	7,3 %	7,0 %	6,8 %	6,5 %	6,3 %	6,1 %	6,0 %	5,8 %	5,7 %	5,5 %	5,4 %
0,055	19,5 %	14,4 %	12,1 %	10,7 %	9,7 %	8,9 %	8,3 %	7,9 %	7,5 %	7,1 %	6,8 %	6,6 %	6,4 %	6,2 %	6,0 %	5,8 %	5,7 %	5,5 %	5,4 %	5,3 %
0,060	19,1 %	14,1 %	11,8 %	10,4 %	9,4 %	8,7 %	8,1 %	7,7 %	7,3 %	7,0 %	6,7 %	6,4 %	6,2 %	6,0 %	5,8 %	5,7 %	5,5 %	5,4 %	5,3 %	5,1 %
0,065	18,6 %	13,8 %	11,5 %	10,2 %	9,2 %	8,5 %	8,0 %	7,5 %	7,1 %	6,8 %	6,5 %	6,3 %	6,1 %	5,9 %	5,7 %	5,5 %	5,4 %	5,3 %	5,1 %	5,0 %
0,070	18,3 %	13,5 %	11,3 %	10,0 %	9,0 %	8,3 %	7,8 %	7,3 %	7,0 %	6,7 %	6,4 %	6,2 %	5,9 %	5,8 %	5,6 %	5,4 %	5,3 %	5,2 %	5,0 %	4,9 %
0,075	17,9 %	13,2 %	11,1 %	9,8 %	8,9 %	8,2 %	7,6 %	7,2 %	6,8 %	6,5 %	6,3 %	6,0 %	5,8 %	5,6 %	5,5 %	5,3 %	5,2 %	5,1 %	4,9 %	4,8 %
0,080	17,6 %	13,0 %	10,9 %	9,6 %	8,7 %	8,0 %	7,5 %	7,1 %	6,7 %	6,4 %	6,2 %	5,9 %	5,7 %	5,5 %	5,4 %	5,2 %	5,1 %	5,0 %	4,8 %	4,7 %
0,085	17,3 %	12,8 %	10,7 %	9,4 %	8,5 %	7,9 %	7,4 %	7,0 %	6,6 %	6,3 %	6,1 %	5,8 %	5,6 %	5,4 %	5,3 %	5,1 %	5,0 %	4,9 %	4,8 %	4,7 %
0,090	17,0 %	12,6 %	10,5 %	9,3 %	8,4 %	7,8 %	7,3 %	6,8 %	6,5 %	6,2 %	6,0 %	5,7 %	5,5 %	5,4 %	5,2 %	5,1 %	4,9 %	4,8 %	4,7 %	4,6 %
0,095	16,8 %	12,4 %	10,4 %	9,1 %	8,3 %	7,6 %	7,1 %	6,7 %	6,4 %	6,1 %	5,9 %	5,6 %	5,5 %	5,3 %	5,1 %	5,0 %	4,8 %	4,7 %	4,6 %	4,5 %
0,100	16,5 %	12,2 %	10,2 %	9,0 %	8,2 %	7,5 %	7,0 %	6,6 %	6,3 %	6,0 %	5,8 %	5,6 %	5,4 %	5,2 %	5,0 %	4,9 %	4,8 %	4,7 %	4,6 %	4,5 %

Tabela 3.2 - Matriz de eficiência de sarjeta de lancil com depressão

$i_{long}$ [m/m]	$Q_{aff}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095	0,100
0,005	100%	86,8%	70,4%	60,3%	53,2%	47,8%	43,5%	40,0%	38,8%	34,6%	32,4%	30,5%	28,7%	27,2%	25,8%	24,5%	23,3%	22,2%	21,2%	20,3%	
0,010	99,7%	71,2%	57,8%	49,5%	43,7%	39,3%	35,8%	33,0%	32,0%	28,5%	26,8%	25,2%	23,8%	22,6%	21,5%	20,4%	19,5%	18,6%	17,8%	17,1%	
0,015	89,1%	63,8%	51,9%	44,6%	39,4%	35,6%	32,6%	30,1%	29,3%	26,3%	24,7%	23,4%	22,2%	21,1%	20,2%	19,3%	18,5%	17,7%	17,0%	16,4%	
0,020	82,3%	59,1%	48,2%	41,6%	36,9%	33,5%	30,7%	28,5%	27,7%	25,1%	23,7%	22,5%	21,4%	20,5%	19,6%	18,8%	18,1%	17,4%	16,8%	16,2%	
0,025	77,4%	55,7%	45,7%	39,5%	35,2%	32,0%	29,5%	27,4%	26,7%	24,3%	23,0%	21,9%	20,9%	20,1%	19,3%	18,6%	17,9%	17,3%	16,7%	16,2%	
0,030	73,7%	53,2%	43,7%	37,9%	33,9%	30,9%	28,5%	26,6%	25,8%	23,7%	22,5%	21,5%	20,6%	19,7%	19,0%	18,3%	17,7%	17,2%	16,7%	16,2%	
0,035	70,6%	51,1%	42,1%	36,6%	32,8%	30,0%	27,7%	25,9%	25,1%	23,2%	22,0%	21,1%	20,2%	19,5%	18,8%	18,1%	17,6%	17,1%	16,6%	16,1%	
0,040	68,1%	49,4%	40,8%	35,6%	31,9%	29,2%	27,1%	25,4%	24,5%	22,7%	21,7%	20,7%	19,9%	19,2%	18,5%	17,9%	17,4%	16,9%	16,4%	16,0%	
0,045	66,0%	48,0%	39,7%	34,6%	31,1%	28,5%	26,5%	24,8%	24,0%	22,3%	21,3%	20,4%	19,6%	18,9%	18,3%	17,7%	17,2%	16,7%	16,3%	15,9%	
0,050	64,2%	46,7%	38,7%	33,8%	30,5%	27,9%	26,0%	24,4%	23,5%	21,9%	21,0%	20,1%	19,3%	18,7%	18,1%	17,5%	17,0%	16,6%	16,1%	15,7%	
0,055	62,5%	45,6%	37,8%	33,1%	29,8%	27,4%	25,5%	24,0%	23,1%	21,6%	20,6%	19,8%	19,1%	18,4%	17,8%	17,3%	16,8%	16,4%	16,0%	15,6%	
0,060	61,1%	44,6%	37,0%	32,5%	29,3%	26,9%	25,1%	23,6%	22,7%	21,2%	20,3%	19,5%	18,8%	18,2%	17,6%	17,1%	16,6%	16,2%	15,8%	15,4%	
0,065	59,8%	43,7%	36,3%	31,9%	28,8%	26,5%	24,6%	23,2%	22,3%	20,9%	20,0%	19,2%	18,6%	17,9%	17,4%	16,9%	16,4%	16,0%	15,6%	15,2%	
0,070	58,6%	42,9%	35,7%	31,3%	28,3%	26,0%	24,3%	22,8%	21,9%	20,6%	19,8%	19,0%	18,3%	17,7%	17,2%	16,7%	16,2%	15,8%	15,4%	15,1%	
0,075	57,5%	42,1%	35,1%	30,8%	27,8%	25,6%	23,9%	22,5%	21,6%	20,3%	19,5%	18,7%	18,1%	17,5%	16,9%	16,5%	16,0%	15,6%	15,2%	14,9%	
0,080	56,5%	41,4%	34,5%	30,3%	27,4%	25,3%	23,6%	22,2%	21,3%	20,1%	19,2%	18,5%	17,8%	17,3%	16,7%	16,3%	15,8%	15,4%	15,1%	14,7%	
0,085	55,6%	40,8%	34,0%	29,9%	27,0%	24,9%	23,2%	21,9%	21,0%	19,8%	19,0%	18,3%	17,6%	17,0%	16,5%	16,1%	15,6%	15,2%	14,9%	14,5%	
0,090	54,8%	40,2%	33,5%	29,5%	26,7%	24,6%	22,9%	21,6%	20,7%	19,6%	18,8%	18,0%	17,4%	16,8%	16,3%	15,9%	15,5%	15,1%	14,7%	14,4%	
0,095	54,0%	39,6%	33,1%	29,1%	26,3%	24,3%	22,7%	21,3%	20,4%	19,3%	18,5%	17,8%	17,2%	16,7%	16,1%	15,7%	15,3%	14,9%	14,5%	14,2%	
0,100	53,2%	39,1%	32,6%	28,7%	26,0%	24,0%	22,4%	21,1%	20,2%	19,1%	18,3%	17,6%	17,0%	16,5%	16,0%	15,5%	15,1%	14,7%	14,4%	14,1%	

Menciona-se que se optou por apresentar apenas a sarjeta com depressão do tipo 1 pois, como se verá à frente, os valores da eficiência hidráulica são praticamente iguais para as duas situações, desde que possuam características geométricas semelhantes.

### 3.2.2 Sumidouros simples e duplos

À semelhança do que acontece com as sarjetas, a definição de determinadas variáveis é essencial para a determinação da eficiência hidráulica, de entre as quais se destacam:

- número de barras transversais: esta parcela é relevante apenas na situação em que se considera que não é desprezável o escoamento sobre a grade. Esta variável influencia o comprimento útil da grade que, por sua vez, influencia o dito escoamento;
- largura da abertura da grade (B): como seria de esperar, está relacionado com a geometria da grade. No entanto, este parâmetro é medido desde o início da primeira abertura até à última; assim, este parâmetro foi definido como a largura, subtraindo 2 cm de cada lado, de forma a retirar a componente estrutural do sumidouro e uma vez que a informação fornecida no catálogo era insuficiente neste contexto;

- distância entre a primeira abertura da grade e o lancil ( $d_1$ ): interfere no parâmetro B, o qual corresponde à soma desta distância com a largura da abertura da grade;
- comprimento da abertura da grade (L): à semelhança do parâmetro referente à largura da abertura da grade, foram retirados 2 cm de cada lado (totalizando 4 cm) ao comprimento;
- altura da depressão ( $h_{depressão}$ ): parâmetro que interfere caso se esteja perante uma valeta rebaixada.

Na análise de um sumidouro duplo, para além da definição dos critérios acima referidos, acrescenta-se que:

- foi considerado que o espaçamento entre sumidouros seria nulo, de forma a se poder desprezar o escoamento gerado entre sumidouros;
- o escoamento que aflui ao segundo sumidouro é a diferença entre o caudal a montante do primeiro e o caudal captado por este.

Em Anexo E apresenta-se um exemplo de tabela utilizada para o cálculo da eficiência hidráulica de um sumidouro para um determinado caudal afluyente. De seguida apresentam-se as matrizes de eficiência para os tipos de sumidouros analisados acima.

Tabela 3.3 - Matriz de eficiência de sumidouro simples sem depressão

$Q_{afl}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095	0,100
0,005	99,8 %	88,7 %	82,7 %	78,8 %	75,9 %	73,7 %	71,9 %	70,4 %	69,1 %	68,0 %	67,1 %	66,2 %	65,5 %	64,8 %	64,2 %	63,6 %	63,1 %	62,6 %	62,1 %	61,7 %
0,010	95,0 %	85,1 %	79,8 %	76,2 %	73,6 %	71,6 %	70,0 %	68,6 %	67,4 %	66,4 %	65,5 %	64,7 %	64,1 %	63,4 %	62,8 %	62,3 %	61,8 %	61,4 %	61,0 %	60,6 %
0,015	93,0 %	83,7 %	78,6 %	75,2 %	72,7 %	70,8 %	69,2 %	67,9 %	66,8 %	65,8 %	65,0 %	64,2 %	63,5 %	62,9 %	62,4 %	61,9 %	61,4 %	60,9 %	60,5 %	60,2 %
0,020	91,9 %	83,0 %	78,0 %	74,7 %	72,3 %	70,4 %	68,9 %	67,6 %	66,5 %	65,5 %	64,7 %	63,9 %	63,3 %	62,7 %	62,1 %	61,6 %	61,2 %	60,7 %	60,3 %	60,0 %
0,025	91,2 %	82,5 %	77,7 %	74,4 %	72,1 %	70,2 %	68,7 %	67,4 %	66,3 %	65,3 %	64,6 %	63,8 %	63,2 %	62,6 %	62,0 %	61,5 %	61,1 %	60,7 %	60,3 %	59,9 %
0,030	90,7 %	82,2 %	77,5 %	74,3 %	71,9 %	70,1 %	68,6 %	67,3 %	66,3 %	65,3 %	64,5 %	63,7 %	63,1 %	62,5 %	62,0 %	61,5 %	61,0 %	60,6 %	60,2 %	59,9 %
0,035	90,4 %	82,1 %	77,3 %	74,2 %	71,8 %	70,0 %	68,5 %	67,3 %	66,2 %	65,2 %	64,5 %	63,7 %	63,1 %	62,5 %	62,0 %	61,5 %	61,0 %	60,6 %	60,2 %	59,6 %
0,040	90,2 %	81,9 %	77,3 %	74,1 %	71,8 %	70,0 %	68,5 %	67,3 %	66,2 %	65,2 %	64,5 %	63,7 %	63,1 %	62,5 %	62,0 %	61,5 %	61,1 %	60,5 %	59,5 %	58,4 %
0,045	90,0 %	81,9 %	77,2 %	74,1 %	71,8 %	70,0 %	68,5 %	67,3 %	66,2 %	65,3 %	64,5 %	63,7 %	63,1 %	62,6 %	62,0 %	61,5 %	60,8 %	59,6 %	58,3 %	56,7 %
0,050	89,9 %	81,8 %	77,2 %	74,1 %	71,8 %	70,0 %	68,5 %	67,3 %	66,2 %	65,3 %	64,5 %	63,8 %	63,2 %	62,6 %	62,0 %	61,2 %	59,9 %	58,4 %	56,6 %	54,8 %
0,055	89,8 %	81,8 %	77,2 %	74,1 %	71,8 %	70,0 %	68,6 %	67,3 %	66,3 %	65,3 %	64,6 %	63,8 %	63,2 %	62,6 %	61,8 %	60,4 %	58,7 %	56,9 %	54,9 %	52,8 %
0,060	89,7 %	81,8 %	77,2 %	74,1 %	71,8 %	70,1 %	68,6 %	67,4 %	66,3 %	65,4 %	64,6 %	63,8 %	63,2 %	62,4 %	61,1 %	59,3 %	57,4 %	55,3 %	53,1 %	50,9 %
0,065	89,7 %	81,8 %	77,2 %	74,2 %	71,9 %	70,1 %	68,6 %	67,4 %	66,4 %	65,4 %	64,6 %	63,9 %	63,2 %	61,9 %	60,2 %	58,1 %	55,9 %	53,6 %	51,3 %	49,0 %
0,070	89,6 %	81,8 %	77,3 %	74,2 %	71,9 %	70,1 %	68,7 %	67,5 %	66,4 %	65,4 %	64,7 %	63,9 %	62,9 %	61,2 %	59,1 %	56,8 %	54,4 %	52,0 %	49,5 %	47,1 %
0,075	89,6 %	81,8 %	77,3 %	74,2 %	72,0 %	70,2 %	68,7 %	67,5 %	66,5 %	65,5 %	64,7 %	63,8 %	62,3 %	60,3 %	57,9 %	55,4 %	52,9 %	50,3 %	47,8 %	45,4 %
0,080	89,6 %	81,8 %	77,3 %	74,3 %	72,0 %	70,2 %	68,8 %	67,5 %	66,5 %	65,5 %	64,8 %	63,5 %	61,6 %	59,3 %	56,7 %	54,1 %	51,4 %	48,8 %	46,2 %	43,7 %
0,085	89,6 %	81,8 %	77,4 %	74,3 %	72,1 %	70,3 %	68,8 %	67,6 %	66,6 %	65,6 %	64,7 %	63,0 %	60,8 %	58,2 %	55,5 %	52,7 %	49,9 %	47,2 %	44,6 %	42,1 %
0,090	89,6 %	81,9 %	77,4 %	74,4 %	72,1 %	70,3 %	68,9 %	67,6 %	66,6 %	65,6 %	64,5 %	62,4 %	59,9 %	57,1 %	54,3 %	51,4 %	48,5 %	45,8 %	43,1 %	40,5 %
0,095	89,6 %	81,9 %	77,4 %	74,4 %	72,1 %	70,4 %	68,9 %	67,7 %	66,7 %	65,7 %	64,1 %	61,7 %	58,8 %	56,0 %	53,0 %	50,1 %	47,2 %	44,4 %	41,7 %	39,1 %
0,100	89,6 %	81,9 %	77,5 %	74,5 %	72,2 %	70,4 %	69,0 %	67,7 %	66,7 %	65,6 %	63,6 %	60,9 %	58,0 %	54,9 %	51,8 %	48,8 %	45,8 %	43,0 %	40,3 %	37,7 %

Tabela 3.4 - Matriz de eficiência de sumidouro simples com depressão

$i_{long}$ [m/m]	$Q_{aff}$ [m³/s]																			
	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095	0,100
0,005	99,8%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	98,7%	97,5%	96,6%	95,7%	95,0%	94,3%	93,7%	93,2%	92,7%	92,2%	91,8%	91,5%	91,1%	90,8%
0,010	99,8%	99,8%	99,8%	99,8%	98,5%	97,0%	95,8%	94,8%	94,0%	93,3%	92,6%	92,0%	91,5%	91,1%	90,6%	90,2%	89,9%	89,6%	89,2%	89,0%
0,015	99,7%	99,7%	99,8%	98,7%	97,0%	95,6%	94,5%	93,6%	92,8%	92,1%	91,5%	91,0%	90,5%	90,1%	89,7%	89,3%	89,0%	88,7%	88,4%	88,1%
0,020	99,6%	99,7%	99,7%	97,7%	96,1%	94,8%	93,7%	92,9%	92,1%	91,5%	90,9%	90,4%	89,9%	89,5%	89,1%	88,8%	88,5%	88,2%	87,9%	87,6%
0,025	99,6%	99,6%	99,2%	97,0%	95,5%	94,2%	93,2%	92,3%	91,6%	91,0%	90,4%	89,9%	89,5%	89,1%	88,7%	88,4%	88,1%	87,8%	87,5%	87,3%
0,030	99,5%	99,6%	98,6%	96,5%	95,0%	93,8%	92,8%	92,0%	91,3%	90,7%	90,1%	89,6%	89,2%	88,8%	88,5%	88,1%	87,8%	87,5%	87,2%	86,5%
0,035	99,5%	99,6%	98,1%	96,1%	94,6%	93,5%	92,5%	91,7%	91,0%	90,4%	89,9%	89,4%	89,0%	88,6%	88,2%	87,9%	87,5%	86,8%	85,8%	84,5%
0,040	99,5%	99,5%	97,8%	95,8%	94,4%	93,2%	92,3%	91,5%	90,8%	90,2%	89,7%	89,2%	88,8%	88,4%	88,1%	87,5%	86,5%	85,2%	83,7%	82,1%
0,045	99,4%	99,5%	97,5%	95,6%	94,1%	93,0%	92,1%	91,3%	90,6%	90,0%	89,5%	89,1%	88,6%	88,3%	87,5%	86,3%	84,8%	83,1%	81,3%	79,5%
0,050	99,4%	99,5%	97,2%	95,3%	93,9%	92,8%	91,9%	91,1%	90,5%	89,9%	89,4%	88,9%	88,5%	87,7%	86,4%	84,8%	82,9%	80,9%	78,9%	76,9%
0,055	99,4%	99,4%	97,0%	95,2%	93,8%	92,7%	91,8%	91,0%	90,3%	89,8%	89,3%	88,8%	88,1%	86,7%	85,0%	83,0%	80,9%	78,7%	76,5%	74,4%
0,060	99,3%	99,4%	96,8%	95,0%	93,6%	92,5%	91,6%	90,9%	90,2%	89,7%	89,2%	88,6%	87,3%	85,5%	83,4%	81,2%	78,9%	76,5%	74,2%	72,0%
0,065	99,3%	99,3%	96,7%	94,9%	93,5%	92,4%	91,5%	90,8%	90,1%	89,6%	89,1%	88,0%	86,2%	84,1%	81,7%	79,3%	76,9%	74,4%	72,1%	69,7%
0,070	99,3%	99,1%	96,5%	94,7%	93,4%	92,3%	91,4%	90,7%	90,1%	89,5%	88,8%	87,2%	85,0%	82,6%	80,1%	77,5%	74,9%	72,4%	70,0%	67,6%
0,075	99,2%	99,0%	96,4%	94,6%	93,3%	92,2%	91,4%	90,6%	90,0%	89,4%	88,2%	86,2%	83,7%	81,1%	78,4%	75,7%	73,1%	70,5%	68,0%	65,6%
0,080	99,2%	98,8%	96,3%	94,5%	93,2%	92,1%	91,3%	90,5%	89,9%	89,2%	87,4%	85,1%	82,4%	79,6%	76,8%	74,0%	71,3%	68,6%	66,1%	63,7%
0,085	99,2%	98,7%	96,2%	94,5%	93,1%	92,1%	91,2%	90,5%	89,9%	88,7%	86,6%	83,9%	81,1%	78,1%	75,2%	72,3%	69,5%	66,9%	64,4%	62,0%
0,090	99,2%	98,6%	96,1%	94,4%	93,1%	92,0%	91,2%	90,4%	89,8%	88,1%	85,7%	82,8%	79,7%	76,6%	73,6%	70,7%	67,9%	65,2%	62,7%	60,3%
0,095	99,1%	98,5%	96,0%	94,3%	93,0%	92,0%	91,1%	90,4%	89,5%	87,4%	84,7%	81,6%	78,4%	75,2%	72,1%	69,2%	66,4%	63,7%	61,1%	58,7%
0,100	99,1%	98,4%	95,9%	94,2%	92,9%	91,9%	91,1%	90,3%	89,1%	86,7%	83,7%	80,4%	77,1%	73,8%	70,7%	67,7%	64,9%	62,2%	59,6%	57,2%

Tabela 3.5 – Matriz de eficiência de sumidouro duplo sem depressão

$i_{long}$ [m/m]	$Q_{aff}$ [m³/s]																			
	0,05	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,085	0,09	0,095	0,1
0,005	100%	100,0%	100,0%	100,0%	99,2%	98,0%	96,9%	95,9%	95,0%	94,2%	93,5%	92,8%	92,2%	91,6%	91,0%	90,5%	90,1%	89,6%	89,2%	88,9%
0,01	100%	99,9%	99,9%	99,0%	97,6%	96,4%	95,3%	94,4%	93,5%	92,7%	92,0%	91,4%	90,8%	90,2%	89,7%	89,3%	88,8%	88,4%	88,0%	87,7%
0,015	99,9%	99,9%	99,8%	98,3%	96,9%	95,7%	94,7%	93,8%	92,9%	92,2%	91,5%	90,8%	90,3%	89,7%	89,2%	88,8%	88,4%	88,0%	87,6%	87,2%
0,02	99,9%	99,9%	99,4%	97,9%	96,6%	95,4%	94,4%	93,4%	92,6%	91,9%	91,2%	90,6%	90,0%	89,5%	89,0%	88,6%	88,1%	87,7%	87,4%	87,0%
0,025	99,9%	99,9%	99,1%	97,7%	96,4%	95,2%	94,2%	93,3%	92,4%	91,7%	91,0%	90,4%	89,9%	89,4%	88,9%	88,4%	88,0%	87,6%	87,3%	86,9%
0,03	99,9%	99,9%	99,0%	97,5%	96,2%	95,1%	94,1%	93,2%	92,3%	91,6%	91,0%	90,4%	89,8%	89,3%	88,8%	88,4%	88,0%	87,6%	87,2%	86,9%
0,035	99,9%	99,9%	98,8%	97,4%	96,1%	95,0%	94,0%	93,1%	92,3%	91,6%	90,9%	90,3%	89,8%	89,3%	88,8%	88,3%	87,9%	87,6%	87,2%	86,7%
0,04	99,9%	99,8%	98,8%	97,4%	96,1%	94,9%	93,9%	93,1%	92,3%	91,5%	90,9%	90,3%	89,8%	89,2%	88,8%	88,3%	87,9%	87,5%	86,9%	86,2%
0,045	99,9%	99,8%	98,7%	97,3%	96,0%	94,9%	93,9%	93,0%	92,3%	91,5%	90,9%	90,3%	89,8%	89,3%	88,8%	88,4%	87,8%	87,1%	86,4%	85,5%
0,05	99,9%	99,8%	98,7%	97,3%	96,0%	94,9%	93,9%	93,0%	92,3%	91,5%	90,9%	90,3%	89,8%	89,3%	88,8%	88,2%	87,5%	86,6%	85,7%	84,7%
0,055	99,8%	99,8%	98,6%	97,3%	96,0%	94,9%	93,9%	93,0%	92,3%	91,6%	90,9%	90,3%	89,8%	89,3%	88,7%	87,9%	87,0%	86,0%	85,0%	83,9%
0,06	99,8%	99,8%	98,6%	97,2%	96,0%	94,9%	93,9%	93,1%	92,3%	91,6%	90,9%	90,4%	89,8%	89,2%	88,4%	87,5%	86,5%	85,4%	84,2%	83,1%
0,065	99,8%	99,8%	98,6%	97,2%	96,0%	94,9%	93,9%	93,1%	92,3%	91,6%	91,0%	90,4%	89,8%	89,0%	88,1%	87,0%	85,9%	84,7%	83,5%	82,3%
0,07	99,8%	99,8%	98,6%	97,2%	96,0%	94,9%	94,0%	93,1%	92,3%	91,6%	91,0%	90,4%	89,7%	88,8%	87,7%	86,5%	85,3%	84,0%	82,8%	81,5%
0,075	99,8%	99,8%	98,6%	97,2%	96,0%	94,9%	94,0%	93,1%	92,4%	91,7%	91,0%	90,4%	89,5%	88,4%	87,2%	86,0%	84,7%	83,4%	82,1%	80,8%
0,08	99,8%	99,8%	98,6%	97,2%	96,0%	95,0%	94,0%	93,2%	92,4%	91,7%	91,1%	90,3%	89,3%	88,1%	86,8%	85,4%	84,1%	82,7%	81,4%	80,0%
0,085	99,8%	99,7%	98,5%	97,2%	96,1%	95,0%	94,0%	93,2%	92,4%	91,7%	91,1%	90,1%	89,0%	87,7%	86,3%	84,9%	83,5%	82,1%	80,7%	79,1%
0,09	99,8%	99,7%	98,5%	97,3%	96,1%	95,0%	94,1%	93,2%	92,4%	91,8%	91,0%	89,9%	88,6%	87,3%	85,8%	84,4%	82,9%	81,5%	80,0%	77,8%
0,095	99,8%	99,7%	98,5%	97,3%	96,1%	95,0%	94,1%	93,2%	92,5%	91,8%	90,9%	89,7%	88,3%	86,9%	85,4%	83,9%	82,4%	80,9%	79,0%	76,4%
0,1	99,8%	99,7%	98,5%	97,3%	96,1%	95,0%	94,1%	93,3%	92,5%	91,8%	90,7%	89,4%	88,0%	86,4%	84,9%	83,4%	81,9%	80,2%	77,8%	74,8%

Tabela 3.6 - Matriz de eficiência de sumidouro duplo com depressão

$i_{long}$ [m/m] \ $Q_{aff}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095	0,100	
0,005	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
0,010	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
0,015	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
0,020	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
0,025	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
0,030	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,9%
0,035	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	99,7%
0,040	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	99,6%	99,4%	99,4%
0,045	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	99,6%	99,3%	99,1%	99,1%
0,050	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	99,6%	99,3%	99,0%	98,7%	98,7%
0,055	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	99,6%	99,3%	99,0%	98,7%	98,4%	98,4%
0,060	100%	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,7%	99,4%	99,1%	98,7%	98,4%	98,0%	98,0%
0,065	100%	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	99,5%	99,2%	98,8%	98,5%	98,1%	97,7%	97,7%
0,070	100%	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,6%	99,3%	99,0%	98,6%	98,2%	97,8%	97,4%	97,4%
0,075	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	99,5%	99,1%	98,7%	98,3%	97,9%	97,5%	97,1%	97,1%
0,080	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,6%	99,3%	98,9%	98,5%	98,1%	97,6%	97,2%	96,8%	96,8%
0,085	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	99,5%	99,1%	98,7%	98,3%	97,8%	97,4%	96,9%	96,5%	96,5%
0,090	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,7%	99,4%	99,0%	98,5%	98,1%	97,6%	97,1%	96,7%	96,2%	96,2%	96,2%
0,095	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,6%	99,2%	98,8%	98,3%	97,9%	97,4%	96,9%	96,4%	96,0%	96,0%	96,0%
0,100	100%	100%	100%	100%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,8%	99,5%	99,1%	98,6%	98,1%	97,7%	97,2%	96,7%	96,2%	95,7%	95,7%

### 3.2.3 Combinação sumidouro e sarjeta

A determinação da eficiência hidráulica da combinação de sumidouro e sarjeta foi feita recorrendo à junção da eficiência registada no sumidouro e na sarjeta, considerando que o caudal afluyente é primeiramente captado pelo sumidouro e o restante pela sarjeta. Neste tipo de dispositivos, a análise foi feita, quer para o caso de existir depressão, quer para o caso de a mesma não existir. Refira-se que, para a primeira situação, foi assumido que a sarjeta seria de depressão do tipo 1 porque, como se verá, não existem alterações significativas dos valores de eficiência entre os dois tipos de depressão existentes. Relembra-se que as dimensões utilizadas para este tipo de dispositivos, nas duas situações analisadas, se encontram em Anexo B:

As matrizes de eficiência da combinação sumidouro e sarjeta sem depressão e com depressão encontram-se na Tabela 3.7 e 3.8, respetivamente.



Tabela 3.7 - Matriz de eficiência de combinação sumidouro e sarjeta sem depressão

$i_{long}$ [m/m] \ $Q_{aff}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095	0,100
0,005	100	97,0	91,5	87,5	84,4	81,9	79,9	78,2	76,7	75,4	74,3	73,3	72,3	71,5	70,8	70,1	69,4	68,8	68,3	67,7
0,010	100	93,1	87,7	83,9	81,0	78,7	76,8	75,2	73,8	72,7	71,6	70,7	69,8	69,1	68,4	67,7	67,1	66,6	66,1	65,6
0,015	99,3	91,2	85,9	82,2	79,4	77,2	75,4	73,9	72,6	71,4	70,4	69,5	68,7	68,0	67,3	66,7	66,1	65,6	65,1	64,7
0,020	98,2	90,0	84,9	81,2	78,5	76,4	74,6	73,1	71,8	70,7	69,8	68,9	68,1	67,4	66,7	66,1	65,6	65,1	64,6	64,2
0,025	97,4	89,3	84,2	80,6	77,9	75,8	74,1	72,6	71,4	70,3	69,3	68,5	67,7	67,0	66,4	65,8	65,2	64,7	64,3	63,8
0,030	96,8	88,7	83,7	80,2	77,5	75,4	73,7	72,3	71,1	70,0	69,0	68,2	67,4	66,7	66,1	65,5	65,0	64,5	64,0	63,6
0,035	96,3	88,3	83,3	79,8	77,2	75,1	73,5	72,0	70,8	69,8	68,8	68,0	67,2	66,5	65,9	65,3	64,8	64,3	63,9	63,1
0,040	96,0	88,0	83,0	79,6	77,0	74,9	73,3	71,9	70,6	69,6	68,7	67,8	67,1	66,4	65,8	65,2	64,7	64,1	63,1	61,9
0,045	95,7	87,7	82,8	79,4	76,8	74,8	73,1	71,7	70,5	69,5	68,5	67,7	67,0	66,3	65,7	65,1	64,3	63,1	61,7	60,2
0,050	95,4	87,5	82,6	79,2	76,7	74,6	73,0	71,6	70,4	69,4	68,4	67,6	66,9	66,2	65,6	64,7	63,4	61,8	60,1	58,2
0,055	95,2	87,3	82,5	79,1	76,5	74,5	72,9	71,5	70,3	69,3	68,4	67,6	66,8	66,2	65,2	63,8	62,2	60,3	58,3	56,3
0,060	95,0	87,2	82,3	79,0	76,5	74,5	72,8	71,4	70,3	69,2	68,3	67,5	66,8	65,9	64,5	62,7	60,8	58,7	56,5	54,3
0,065	94,9	87,0	82,2	78,9	76,4	74,4	72,8	71,4	70,2	69,2	68,3	67,5	66,7	65,3	63,5	61,5	59,3	57,0	54,7	52,4
0,070	94,7	86,9	82,2	78,8	76,3	74,3	72,7	71,4	70,2	69,2	68,3	67,4	66,3	64,5	62,5	60,2	57,8	55,4	52,9	50,6
0,075	94,6	86,9	82,1	78,8	76,3	74,3	72,7	71,3	70,2	69,1	68,2	67,3	65,7	63,6	61,3	58,8	56,3	53,7	51,2	48,8
0,080	94,5	86,8	82,0	78,7	76,2	74,3	72,7	71,3	70,1	69,1	68,2	66,9	64,9	62,6	60,1	57,4	54,8	52,2	49,6	47,1
0,085	94,4	86,7	82,0	78,7	76,2	74,3	72,6	71,3	70,1	69,1	68,1	66,4	64,1	61,5	58,8	56,1	53,3	50,6	48,0	45,5
0,090	94,3	86,7	82,0	78,7	76,2	74,2	72,6	71,3	70,1	69,1	67,8	65,7	63,2	60,5	57,6	54,7	51,9	49,2	46,5	44,0
0,095	94,3	86,6	81,9	78,6	76,2	74,2	72,6	71,3	70,1	69,1	67,4	65,0	62,3	59,4	56,4	53,4	50,5	47,8	45,1	42,5
0,100	94,2	86,6	81,9	78,6	76,2	74,2	72,6	71,3	70,1	68,9	66,9	64,3	61,3	58,3	55,2	52,2	49,2	46,4	43,7	41,1

Tabela 3.8 - Matriz de eficiência de combinação sumidouro e sarjeta com depressão

$i_{long}$ [m/m] \ $Q_{aff}$ [m <sup>3</sup> /s]	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	0,080	0,085	0,090	0,095	0,100
0,005	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,7	99,3
0,010	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,8	99,3	98,8	98,3	97,9	97,5	97,0	96,7
0,015	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,5	98,9	98,3	97,8	97,3	96,9	96,5	96,1	95,7	95,3
0,020	100	100	100	100	100	100	100	100	99,8	99,1	98,5	97,9	97,4	96,9	96,4	96,0	95,6	95,2	94,8	94,4
0,025	100	100	100	100	100	100	99,8	99,1	98,4	97,8	97,2	96,7	96,2	95,7	95,2	94,8	94,4	94,0	93,8	93,8
0,030	100	100	100	100	100	100	99,3	98,5	97,9	97,2	96,7	96,1	95,7	95,2	94,8	94,4	94,0	93,7	93,4	93,4
0,035	100	100	100	100	100	99,6	98,8	98,1	97,4	96,8	96,2	95,7	95,2	94,8	94,4	94,0	93,6	93,3	93,0	93,0
0,040	100	100	100	100	100	99,3	98,4	97,7	97,0	96,4	95,9	95,3	94,9	94,4	94,0	93,7	93,3	93,0	92,7	92,7
0,045	100	100	100	100	99,9	98,9	98,1	97,4	96,7	96,1	95,5	95,0	94,6	94,1	93,7	93,4	93,0	92,7	92,4	92,4
0,050	100	100	100	100	99,6	98,7	97,8	97,1	96,4	95,8	95,3	94,8	94,3	93,9	93,5	93,1	92,8	92,5	92,1	92,1
0,055	100	100	100	100	99,3	98,4	97,6	96,8	96,2	95,6	95,0	94,5	94,1	93,7	93,3	92,9	92,6	92,2	91,9	91,9
0,060	100	100	100	100	99,1	98,2	97,4	96,6	96,0	95,4	94,8	94,3	93,9	93,5	93,1	92,7	92,4	92,1	91,8	91,8
0,065	100	100	100	99,9	98,9	98,0	97,1	96,4	95,8	95,2	94,6	94,1	93,7	93,3	92,9	92,5	92,2	91,9	91,6	91,6
0,070	100	100	100	99,8	98,7	97,8	97,0	96,2	95,6	95,0	94,5	94,0	93,5	93,1	92,7	92,4	92,0	91,7	91,4	91,4
0,075	100	100	100	99,6	98,5	97,6	96,8	96,1	95,4	94,8	94,3	93,8	93,4	93,0	92,6	92,2	91,9	91,6	91,3	91,3
0,080	100	100	100	99,4	98,4	97,5	96,6	95,9	95,3	94,7	94,2	93,7	93,2	92,8	92,5	92,1	91,8	91,5	91,2	91,2
0,085	100	100	100	99,3	98,2	97,3	96,5	95,8	95,1	94,6	94,0	93,6	93,1	92,7	92,3	92,0	91,7	91,4	91,1	91,1
0,090	100	100	100	99,2	98,1	97,2	96,4	95,7	95,0	94,4	93,9	93,4	93,0	92,6	92,2	91,9	91,6	91,3	91,0	91,0
0,095	100	100	100	99,0	98,0	97,1	96,3	95,5	94,9	94,3	93,8	93,3	92,9	92,5	92,1	91,8	91,5	91,2	90,9	90,9
0,100	100	100	100	98,9	97,9	96,9	96,1	95,4	94,8	94,2	93,7	93,2	92,8	92,4	92,0	91,7	91,4	91,1	90,8	90,8



### 3.3 Avaliação dos resultados obtidos, em termos de ábacos

#### 3.3.1 Notas Introdutórias

O impacto dos dispositivos interceptores em meio urbano pode ser avaliado recorrendo ao estudo da eficiência dos mesmos. Assim, neste capítulo, será feita uma abordagem às variações da eficiência com a variação do caudal afluente, da inclinação longitudinal do arruamento e de possíveis obstruções. Mencione-se que na análise da eficiência dos dispositivos foi considerada a existência da parcela referente ao escoamento sobre as grades.

#### 3.3.2 Sarjetas de passeio

As sarjetas de lancil de passeio são dispositivos interceptores associados, maioritariamente, a zonas urbanas mais antigas, encontrando-se, atualmente, em desuso, por apresentarem eficiências inferiores a outras soluções, como sumidouros. Os ábacos referentes às sarjetas encontram-se na Figura 3.2, 3.3 e 3.4.

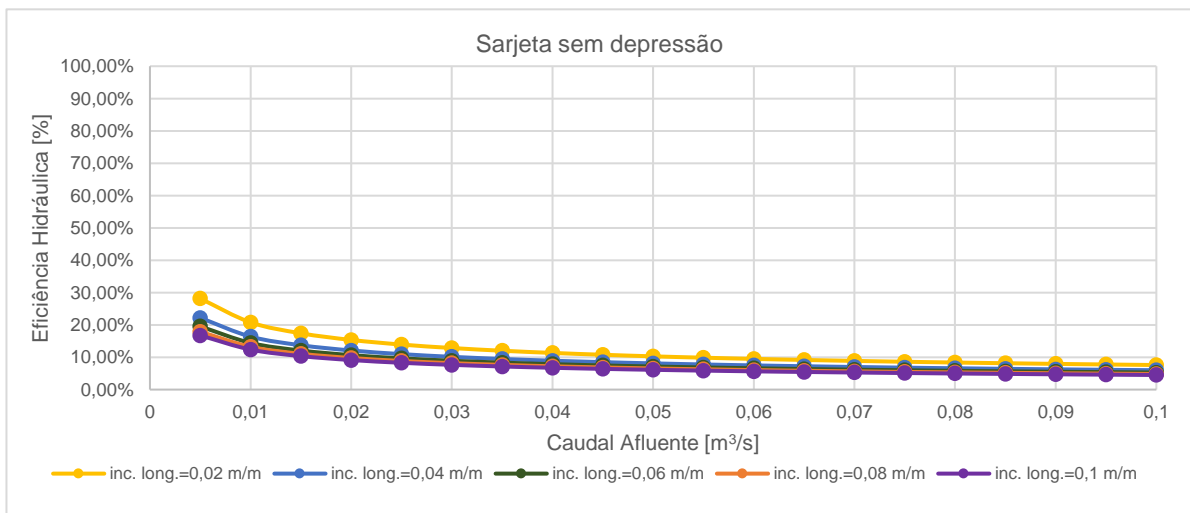


Figura 3.2 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sarjeta sem depressão

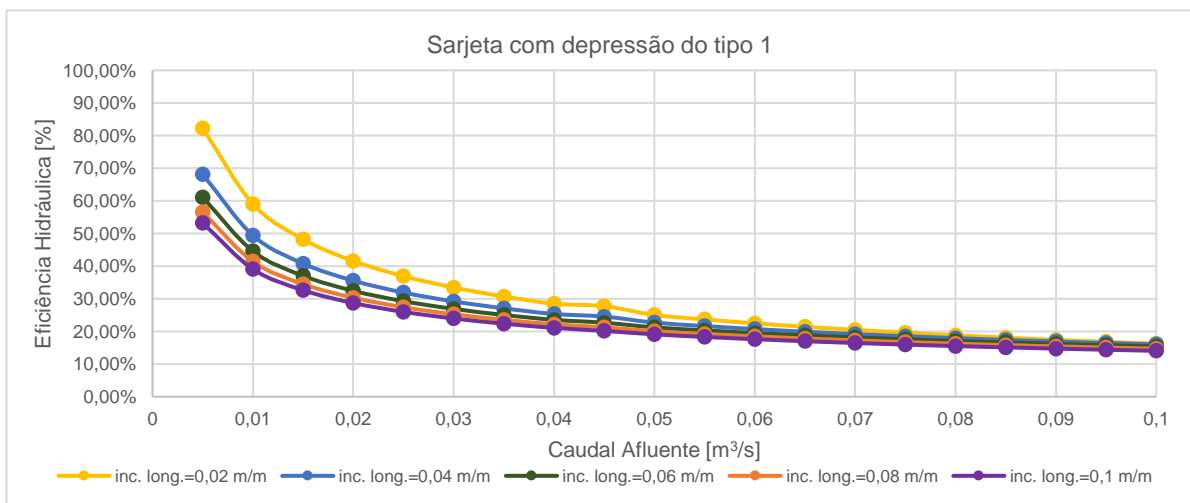


Figura 3.3 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sarjeta com depressão do tipo 1

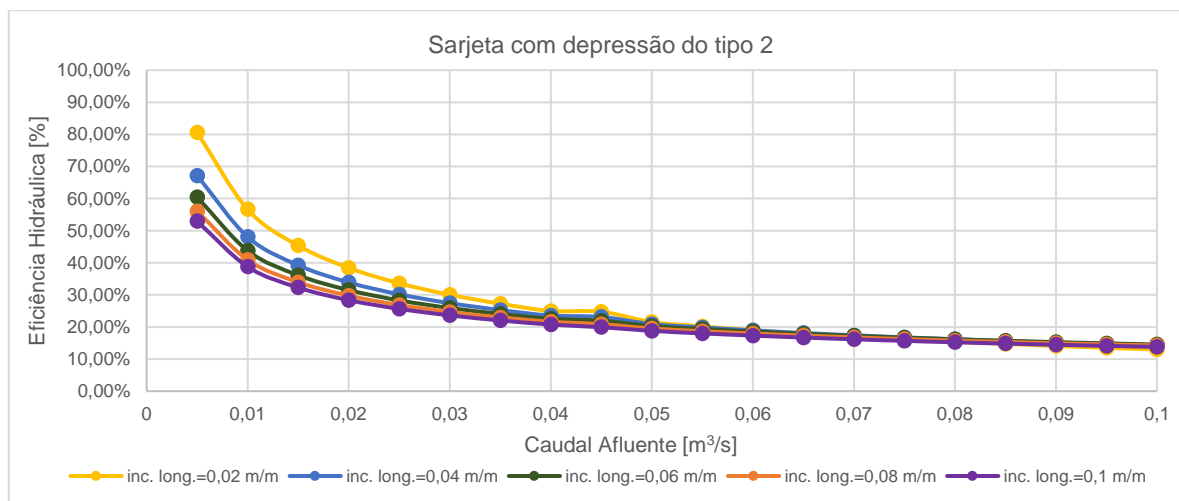


Figura 3.4 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sarjeta com depressão do tipo 2

Refere-se que, em ambos os casos de a sarjeta possuir depressão, considerou-se que a altura da depressão seria de 5 cm. A eficiência hidráulica das sarjetas, independentemente da tipologia considerada, apresenta um andamento bastante semelhante nas situações apresentadas. Comparando os valores da eficiência de sarjetas e sumidouros simples, constata-se que os primeiros apresentam valores significativamente mais baixos de eficiência hidráulica para a gama de valores apresentados. Verifica-se também que existe uma diferença significativa entre os apresentados no caso da sarjeta de passeio sem depressão e no da sarjeta com depressão (tipo 1 e 2), como seria de esperar. Estes resultados demonstram a necessidade de avaliação das eficiências dos dispositivos quando se trata de fazer escolhas na implementação dos mesmos em determinadas circunstâncias.

Com estes resultados, constata-se que, na prática, as sarjetas apresentam desempenhos muito deficientes e, como tal, não devem ser utilizadas, com pequenas exceções: podem ser consideradas quando combinadas com sumidouros, como se verá mais à frente, e podem ainda ser equacionadas quando se preveja elevada quantidade de sólidos e detritos presentes no escoamento superficial, por forma a evitar a obstrução dos dispositivos interceptores.

Finalizando com a análise das sarjetas de passeio com depressão no que toca à eficiência hidráulica, constata-se que as diferenças entre os dois tipos são inexistentes.

### 3.3.3 Sumidouros

Para além das sarjetas, é possível a consideração de sumidouros simples e ainda sumidouros duplos. Em ambos os casos, é possível que sejam implantados com ou sem depressão. As variações dos valores da eficiência hidráulica para os sumidouros simples encontram-se nos ábacos presentes nas Figuras 3.5 e 3.6.

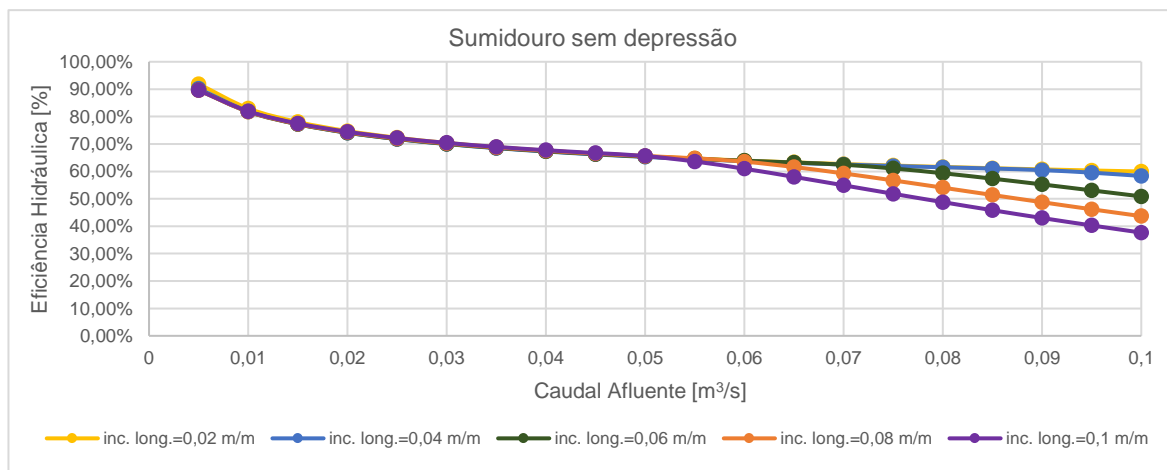


Figura 3.5 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro sem depressão

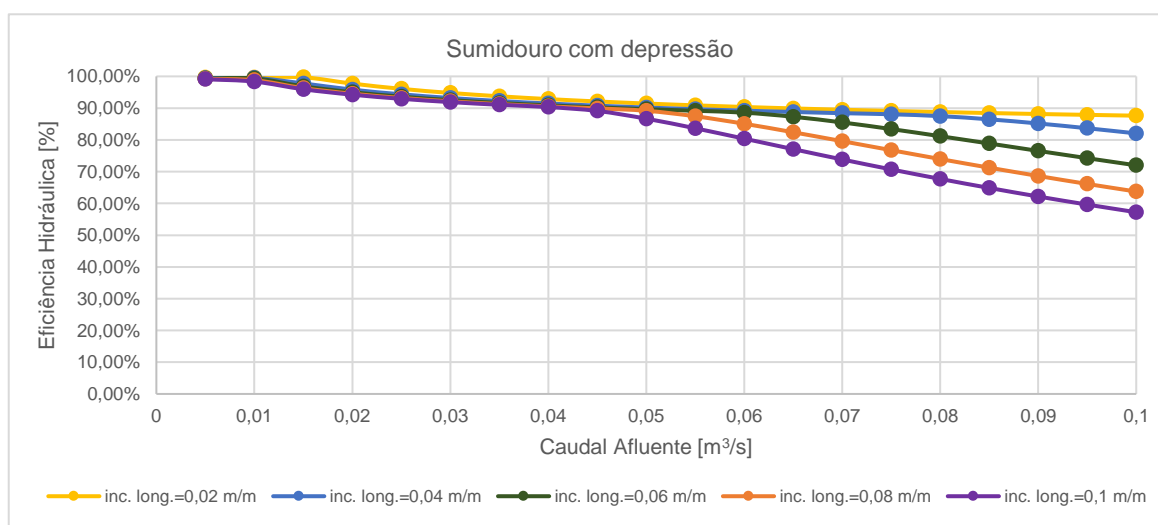


Figura 3.6- Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro com depressão

Tal como seria de esperar, a eficiência hidráulica dos sumidouros com depressão é superior à dos sumidouros sem depressão. Verifica-se ainda que, para ambas as situações, para inclinações longitudinais do arruamento elevadas e para caudais elevados, a eficiência diminui substancialmente em ambas as situações, podendo ser explicado pelo aumento da parcela referente ao escoamento sobre a grade, o que evidencia a sua importância na capacidade de captação dos sumidouros. Pela análise de resultados, verifica-se que, para pequenos caudais, ambos os casos apresentam resultados bastante satisfatórios, mesmo para inclinações longitudinais do arruamento elevadas (na ordem dos 10%). No entanto, o mesmo não pode ser dito no caso de sumidouros sem depressão, para o caso de se estar perante elevados caudais, uma vez que resultam em eficiências inferiores a 65%. A eficiência de sumidouros com depressão é satisfatória, salientando-se apenas eficiências menores para situações extremas (inclinação longitudinal e caudal afluyente de 10% e 100l/s, respetivamente).

Analisando os valores obtidos pelo ábaco, verifica-se que a escolha do tipo de sumidouros pode variar: por um lado, os sumidouros com depressão poderão ser vantajosos em situações onde se preveja um elevado caudal afluyente (por exemplo, num arruamento onde se preveja a recolha do caudal proveniente de outros arruamentos) ou onde seja necessário recorrer a arruamentos de elevada inclinação longitudinal; por outro lado, os sumidouros sem depressão poderão ser vantajosos em locais

onde não seja aconselhável a existência de depressão (por exemplo, em ciclovias ou onde se preveja a circulação de motociclos, desde que não interfiram com a segurança destes veículos). Importa referir que a escolha poderá também ser influenciada pelo período de retorno escolhido para o projeto, uma vez que, para maiores períodos de retorno, o caudal de dimensionamento dos dispositivos interceptores é também superior.

É ainda importante salientar o facto de a análise se ter realizado assumindo que os dispositivos interceptores se encontravam totalmente desobstruídos. Na verdade, a maior desvantagem dos sumidouros é exatamente o facto de serem obstruídos com maior facilidade por detritos ou pelas rodas dos automóveis, pelo que a sua implementação deverá ter em conta se é expectável que haja obstruções dessa natureza (por exemplo, em locais de estacionamento ou a existência de vegetação nas redondezas, que potencia o transporte de folhas no escoamento superficial).

Nos ábacos seguintes (Figura 3.7 e 3.8) é apresentada a eficiência hidráulica para o caso de um sumidouro simples sem e com depressão para o caso de os mesmos apresentarem obstrução de 50% (para tal considerou-se que L seria metade do valor considerado nos exemplos anteriores).

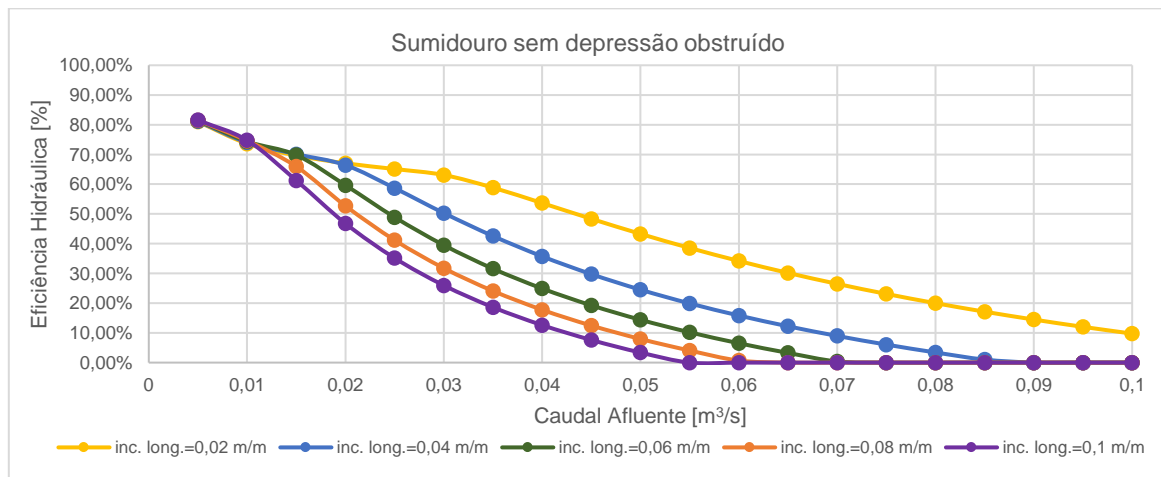


Figura 3.7 - Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro sem depressão com 50% de obstrução

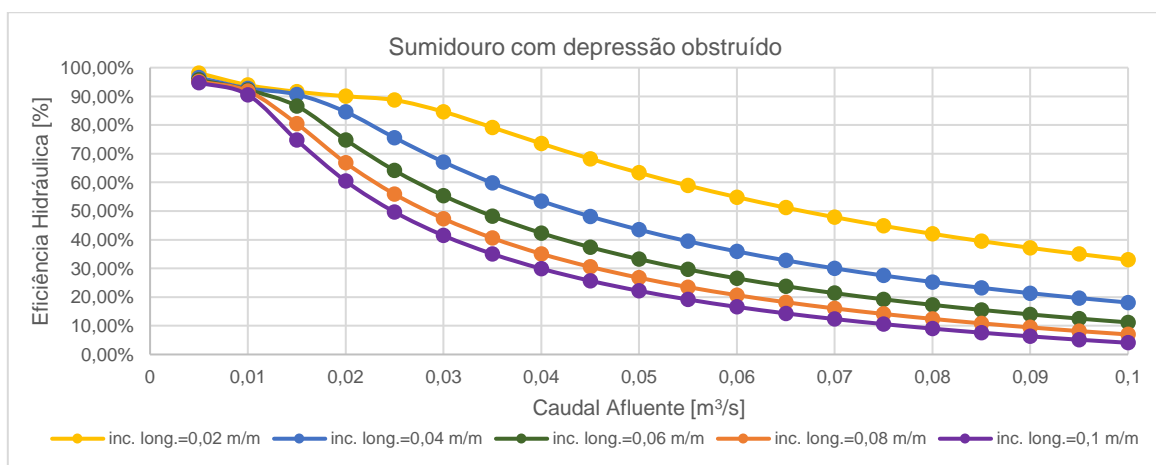


Figura 3.8 - Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro com depressão com 50% de obstrução

Pela análise dos ábacos, constata-se que a eficiência dos sumidouros com e sem depressão diminui substancialmente para o caso de os mesmos se encontrarem obstruídos. Desta forma, demonstra-se que as ações de manutenção e limpeza são cruciais para o correto funcionamento das redes de drenagem urbana.

Para além dos sumidouros simples sem e com depressão, é ainda possível a consideração de sumidouros duplos. Assim, apresentam-se os ábacos nas Figuras 3.9 e 3.10 para a situação de um sumidouro duplo sem depressão e para o caso de um sumidouro duplo com depressão.

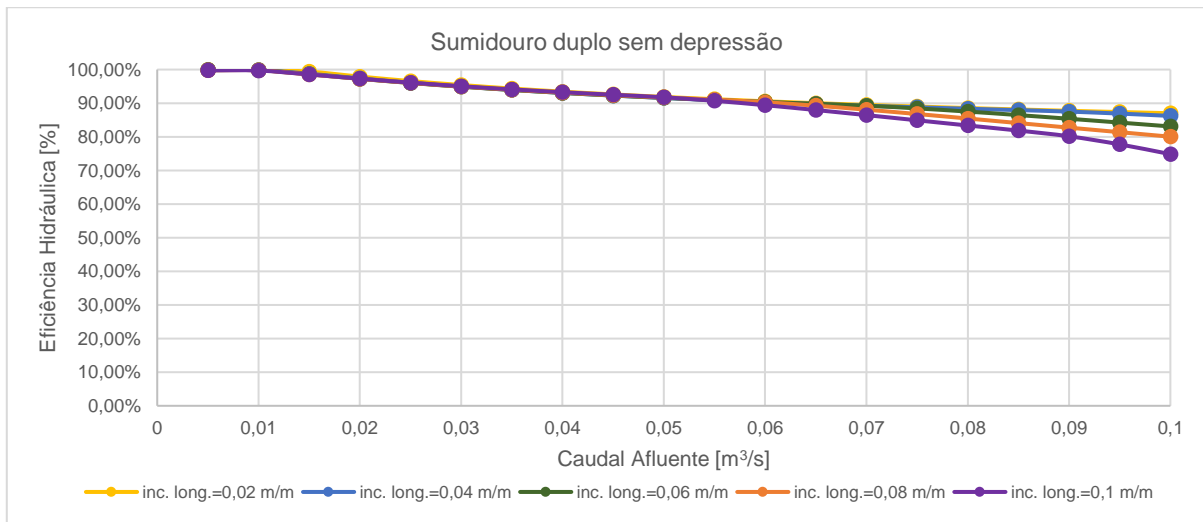


Figura 3.9 - Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro duplo sem depressão

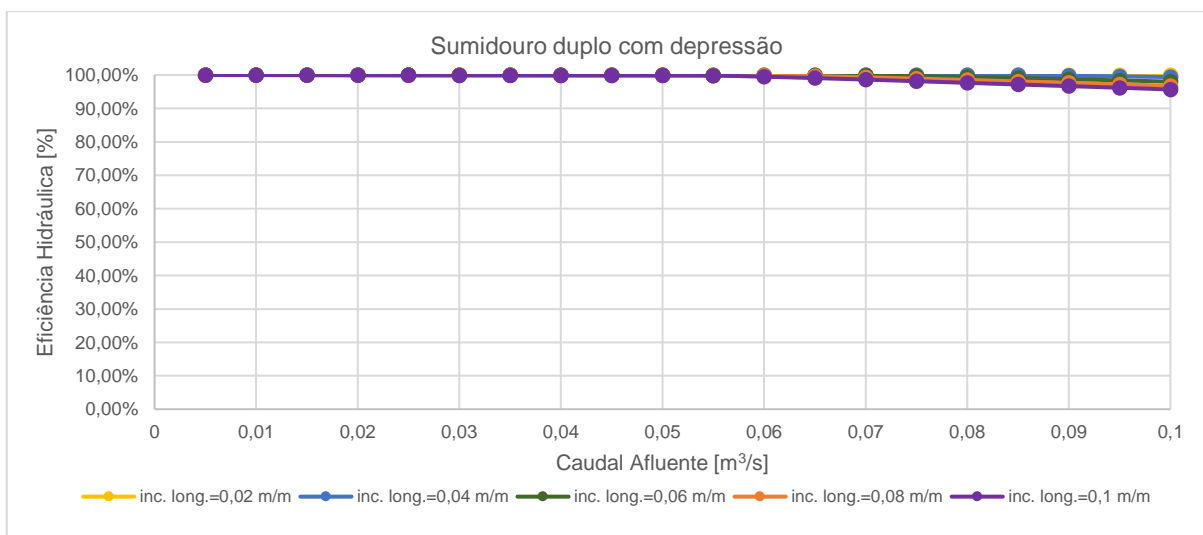


Figura 3.10 - Ábaco representativo da eficiência hidráulica de sumidouro duplo com depressão

Na análise da eficiência de sumidouros duplos, verifica-se que a existência de depressão nos sumidouros é benéfica para a eficiência hidráulica destes dispositivos. Na verdade, verifica-se que, para ambas as situações, os sumidouros são uma excelente opção no que toca à captação do caudal afluyente.

As sugestões feitas sobre a aplicabilidade dos sumidouros com e sem depressão podem ser extrapoladas para o caso de sumidouros duplos. No entanto, pelo facto de apresentarem eficiências superiores aos sumidouros simples, serão mais indicados onde existam problemas recorrentes de inundações ou onde as mesmas sejam espectáveis. Em ambos os casos, salienta-se que a sua implantação não é aconselhada quando se preveem obstruções dos mesmos.

### 3.3.4 Combinação sumidouro e sarjeta

Por forma a colmatar as falhas dos dois tipos de dispositivos mencionados anteriormente, é possível considerar a sua combinação, com ou sem depressão. Os ábacos referentes a estas situações encontram-se Nas Figuras 3.11 e 3.12.

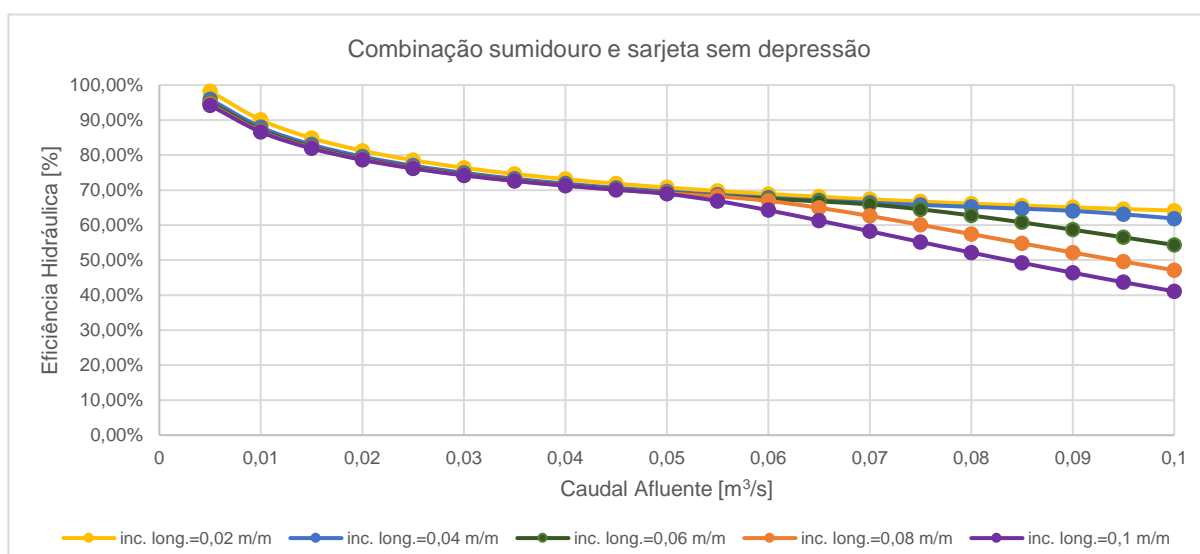


Figura 3.11 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica da combinação sumidouro e sarjeta sem depressão

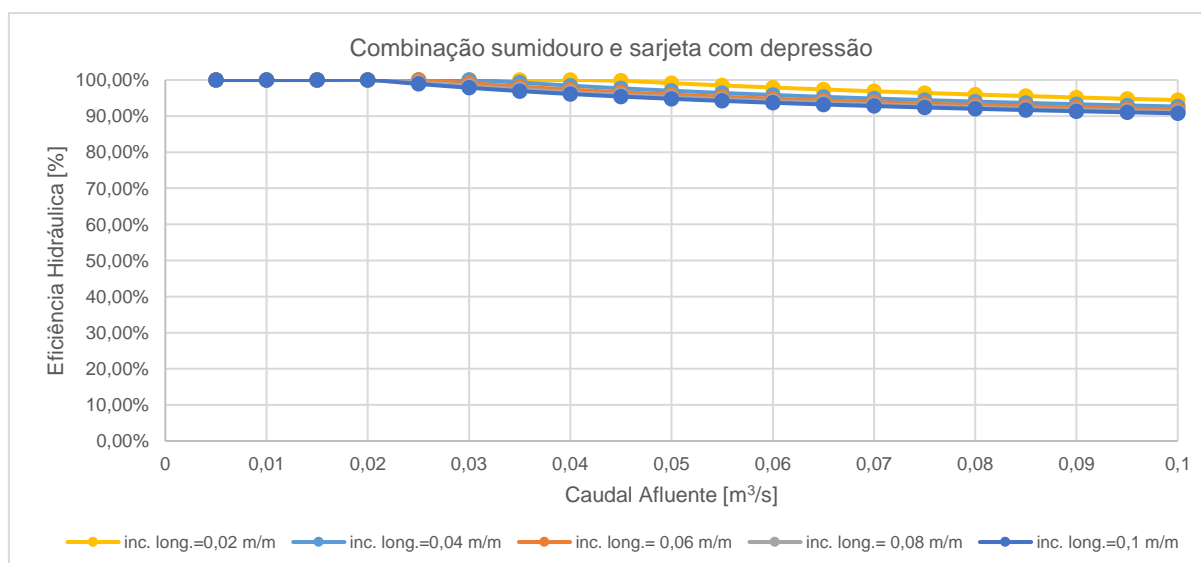


Figura 3.12 – Ábaco representativo da eficiência hidráulica da combinação sumidouro e sarjeta com depressão

Pela análise dos resultados obtidos, verifica-se que o comportamento da combinação sumidouro e sarjeta sem depressão se assemelha ao do sumidouro simples sem depressão, com a nuance de apresentar valores ligeiramente superiores de eficiência hidráulica. No entanto, os valores de eficiência da combinação sumidouro e sarjeta com depressão são bastante elevados para a gama de valores estudados, confirmando-se que se trata de uma excelente opção quando se pretende verificar elevadas taxas de captação do escoamento superficial.

A grande vantagem deste tipo de dispositivos é a possibilidade de colmatar falhas inerentes aos dispositivos quando considerados individualmente: por um lado, permitem a recolha do efluente mesmo que o sumidouro se encontre obstruído, tornando a sua implementação viável em condições que não o eram para os sumidouros (por exemplo, em pontos baixos onde se preveja a acumulação de lixo e sedimentos transportados pelo escoamento superficial); por outro, permite obter eficiências superiores aos sumidouros simples. Este tipo de dispositivos permite ainda a consideração da combinação sumidouro duplo e sarjeta. Como desvantagem, refira-se que este tipo de dispositivos requer um investimento inicial superior, quando comparado com os que já foram analisados.

A análise dos valores obtidos nos ábacos permite identificar os dispositivos interceptores que apresentam melhor desempenho hidráulico. No entanto, a escolha deverá ter em conta, para além da eficiência dos mesmos, o seu comportamento na presença de eventuais detritos no escoamento ou a previsão de obstruções por rodas dos automóveis. Por forma a facilitar a escolha dos dispositivos tendo em conta esta variável, elaborou-se o fluxograma apresentado na Figura 3.13.

Para além de possíveis obstruções, a correta implementação dos dispositivos interceptores permite otimizar o sistema por possibilitar uma melhor gestão do caudal afluente. Desta forma, realça-se a importância do espaçamento entre dispositivos. A determinação deste parâmetro, regra geral, poderá ser feita da seguinte forma:

- 1) definir tipo de dispositivo do local/projeto e arbitrar espaçamento entre eles;
- 2) definição do espaçamento, calcular área de influência de cada dispositivo. Realça-se que, no caso de haver um dispositivo em cada faixa de rodagem, a área terá que apenas abranger a faixa de rodagem onde está inserido mais o passeio, edifícios ou jardins que contribuam para o caudal afluente;
- 3) determinação do caudal afluente através da fórmula racional,  $Q = CIA$ , onde  $A$  corresponde à área de influência do dispositivo em questão;
- 4) verificação da eficiência obtida para os dispositivos adotados em 1). Caso a eficiência não seja satisfatória, alterar tipo de dispositivos ou espaçamento entre os mesmos e repetir processo.

Pela análise do fluxograma, é possível verificar que não há alusão ao procedimento a adotar no que toca ao espaçamento entre dispositivos interceptores, pelo facto de este parâmetro depender de caso para caso. Assim, apesar de a análise feita neste capítulo permitir compreender quais os dispositivos a adotar para a melhoria do funcionamento dos sistemas de drenagem urbana, a correta implementação destes dependerá da ponderação de outros fatores que influenciam a eficiência dos dispositivos interceptores, tais como percentagem de área impermeável, área de influência de cada dispositivo, número de dispositivos existentes/ a considerar no projeto, custo dos dispositivos, entre

outros Refere-se que o valor de caudal afluente elevado é na ordem dos 60 l/s e inclinação elevada de 6% e que a escolha dos dispositivos é meramente uma sugestão.

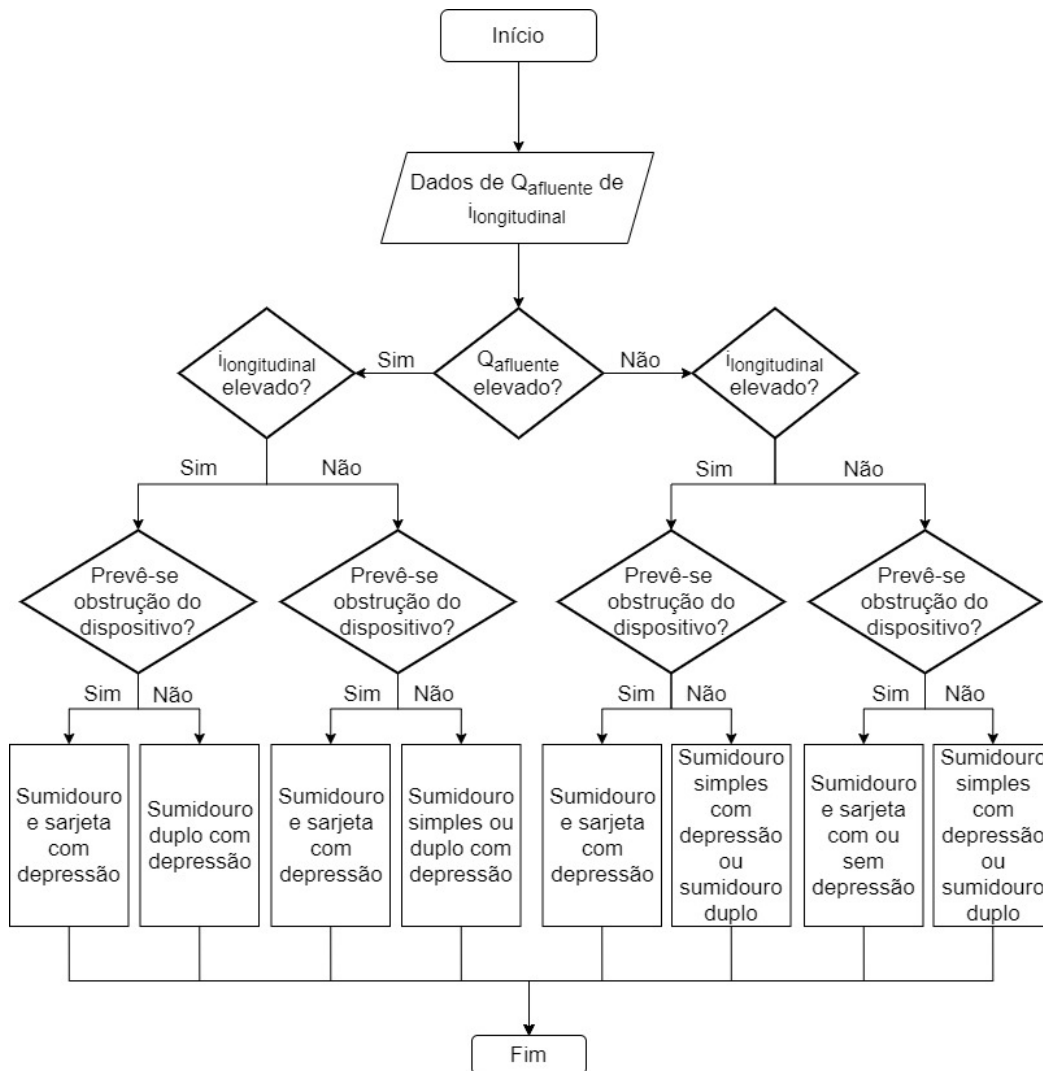


Figura 3.13 -.Fluxograma de decisão de dispositivo de intercepção

### 3.4 Consideração da eficiência dos dispositivos interceptores em modelos 1D e 2D

A análise dos valores obtidos através da aplicação da ferramenta de cálculo dos dispositivos de entrada permitiu uma melhor compreensão do funcionamento dos mesmos e das suas eficiências, obtendo assim uma avaliação da sua eficácia em diversos cenários (tanto em situações com diferentes intensidade de precipitação, como no caso de se analisar um arruamento com inclinação reduzida ou de maiores inclinações), constituindo assim um utensílio interessante para se refletir sobre casos onde existam sistemas de drenagem pluvial deficientes.

É sabido que a modelação de sistemas de drenagem urbanos apresenta inúmeras falhas inerentes às simplificações que lhes estão associadas, pelo facto de ser extremamente complexa a representação realista de todos os fenómenos existentes no escoamento superficial e nos sistemas de drenagem



pluvial. Estas simplificações permitem tornar o modelo, tanto quanto possível, mais intuitivo para o utilizador e de rápida execução. No entanto, acrescentam erros que, muitas vezes, poderão comprometer as escolhas feitas pelos projetistas e causar inúmeros prejuízos para os municípios e populações.

Nos modelos de simulação dinâmica 1D, os dispositivos de interceção e as respetivas eficiências não são contabilizadas de forma explícita (podendo, por exemplo, caso o utilizador assim o entenda, calibrar o sistema de forma a introduzir a variável da eficiência dos dispositivos intercetores, através da alteração do coeficiente C das bacias do modelo). Para a elaboração deste tipo de modelos, é possível recorrer ao *software* SWMM (1D), o qual considera que o escoamento gerado numa determinada bacia é integralmente captado, contribuindo na totalidade para o caudal afluyente no coletor, o que não corresponde à realidade. Assim, após ser gerado o escoamento superficial em cada bacia, deverá avaliar-se qual a percentagem que efetivamente entra, num determinado local, para o coletor pluvial.

Para se resolver esta questão na modelação em 1D, sugere-se que, através dos ábacos apresentados no subcapítulo anterior, se possa resolver, em certa medida, a problemática de se considerar a captação total do escoamento gerado numa determinada bacia, em função dos dispositivos existentes na mesma. Para tal, poder-se-á, tal como referido anteriormente, calibrar o modelo através da alteração do coeficiente C nas bacias ou através da alteração dos valores dos hidrogramas de cheia das bacias, de acordo com os valores de eficiência dos dispositivos presentes no caso de estudo. Esta última será implementada num caso de estudo concreto, abordado no Capítulo 5, recorrendo para tal ao *software* SWMM e à ferramenta de cálculo em análise. A metodologia em questão apresenta-se na Figura 3.14.

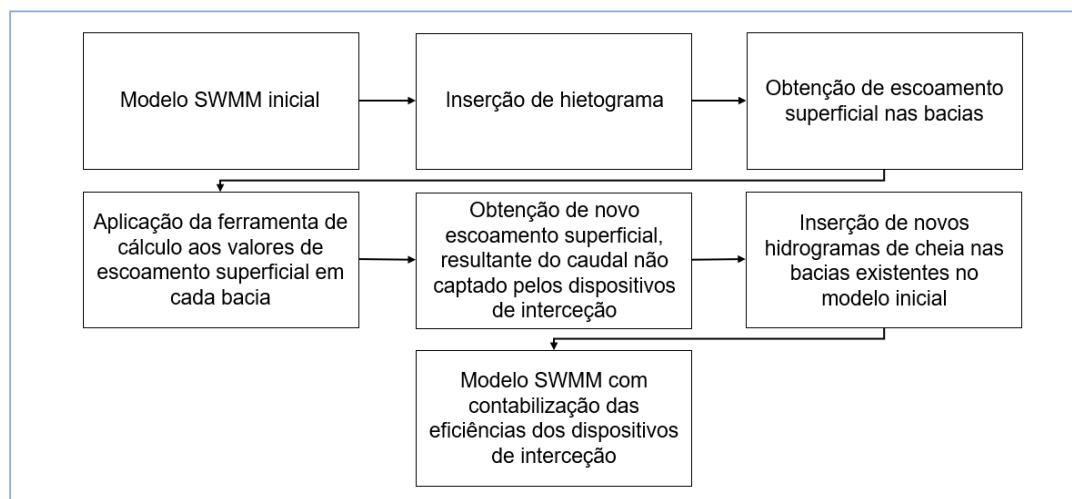


Figura 3.14 - Consideração da eficiência dos dispositivos intercetores recorrendo à alteração dos hidrogramas de cheia das bacias

Na presença de modelos mais complexos, como modelos 1D/2D, a consideração da eficiência dos dispositivos intercetores através dos ábacos é também possível. No entanto, a sua implementação poderá ser distinta de modelo para modelo, dependendo do *software* utilizado, uma vez que estes poderão fornecer os resultados em função de outras variáveis (por exemplo fornecerem os resultados

em função da altura e velocidade de escoamento, em vez de os fornecerem em função do caudal, para um determinado ponto e período).

Neste sentido, a aplicação do estudo anteriormente referido é mais complexa. No entanto, caso haja informação sobre o escoamento numa secção de referência, torna-se possível, através do cálculo da área da mesma, o cálculo do caudal de escoamento e, por conseguinte, a introdução dos valores de eficiência hidráulica no escoamento superficial, permitindo, nestes modelos, a introdução desta variável. Conclui-se, assim, que, apesar de serem necessários passos adicionais nos modelos 1D/ 2D, devido à sua complexidade, a aplicação deste estudo é efetuada seguindo as mesmas ideias de base, ou seja, a sua aplicação apresenta poucas diferenças entre os modelos mencionados.

Os resultados obtidos nos ábacos constataam a necessidade da introdução da variável da eficiência dos dispositivos intercetores nos modelos utilizados para verificação da capacidade dos sistemas de drenagem urbana ou, pelo menos, para a consciencialização, por parte dos projetistas, para o possível sobredimensionamento da rede de coletores. Por outro lado, estes valores permitem justificar, em certa medida, casos de deficiente escoamento superficial e consequentes inundações, mesmo quando a rede de coletores permite o transporte do caudal afluente a um determinado arruamento. Assim, torna-se imperativo um estudo prévio antes da escolha, tanto do tipo como do local de implementação dos dispositivos intercetores, uma vez que estas variáveis poderão melhorar substancialmente o funcionamento das redes pluviais. Importa ainda referir que os ábacos obtidos neste capítulo apresentam os resultados dos respetivos dispositivos na situação de não haver qualquer tipo de obstruções, ou seja, caso se apresentem em condições ótimas, o que nem sempre se verifica. Assim, é igualmente importante assegurar ações de manutenção e de limpeza de todas as componentes de um sistema de drenagem pluvial, incluindo os dispositivos de intercepção, correndo-se o risco de comprometer o funcionamento destas redes.

## 4 CAMPANHAS EXPERIMENTAIS

### 4.1 Considerações iniciais

A validação dos resultados obtidos pela metodologia de cálculo abordada no Capítulo 3 para diversos dispositivos pode ser feita recorrendo à realização de campanhas experimentais. Neste sentido, procedeu-se ao trabalho prático descrito neste Capítulo. Assim, será feita uma caracterização da área escolhida para o efeito, bem como a uma descrição detalhada dos dispositivos utilizados, das campanhas e dos resultados obtidos.

### 4.2 Caracterização da área

Para a realização das campanhas experimentais, com o intuito de avaliar os resultados apresentados neste documento, optou por se selecionar dispositivos de interceção situados no Instituto Superior Técnico (IST), localizado na cidade de Lisboa, tal como se constata na Figura 4.1.

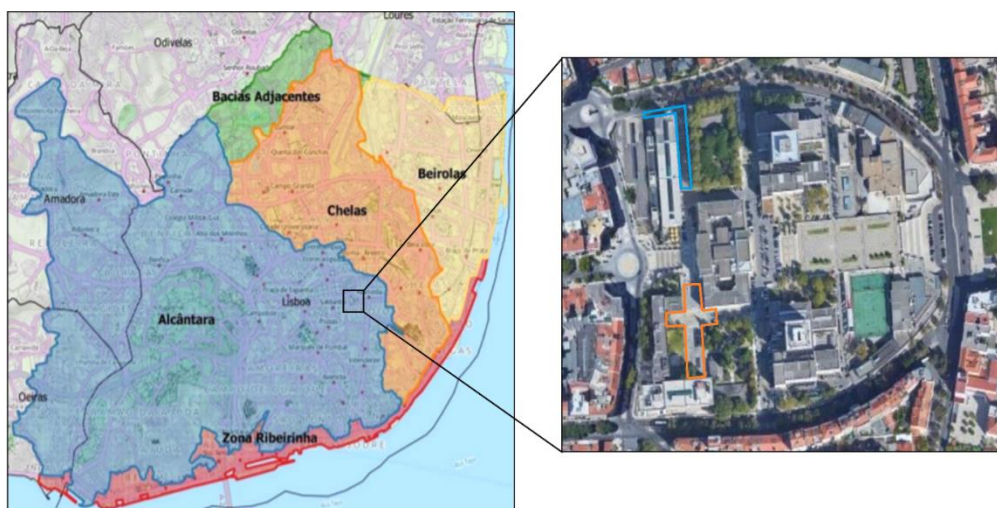


Figura 4.1 - Localização do Instituto Superior Técnico na cidade de Lisboa (adaptado de (Guerreiro et al. 2015)) e localização das áreas de estudo

Com vista à realização das campanhas e tendo em mente a escolha do melhor local para as mesmas, houve necessidade de se fazer um levantamento dos dispositivos intercetores, bem como dos hidrantes existentes no *campus* da Alameda do IST, de forma a ser possível simular caudais com alguma expressão, e direcionar o escoamento para os dispositivos em análise, com o recurso a uma mangueira.

Após o levantamento de todos os dispositivos de interceção do IST e hidrantes, usados para obtenção da água, optou-se por duas zonas de estudo: o arruamento que se inicia na entrada do IST com ligação ao Saldanha, até ao acesso do estacionamento subterrâneo existente no pavilhão de Civil (intitulada Zona de Civil), marcado a azul na Figura 4.1, e o arruamento que tem início no mesmo local e que termina na entrada do pavilhão de Matemática (Zona de Matemática), marcado a laranja, na Figura 4.1.

Mencione-se que a escolha dos locais foi feita com o intuito de facilitar, tanto quanto possível, das campanhas a realizar, pelo que se teve em conta a proximidade dos dispositivos de interceção dos hidrantes existentes, as características do arruamento (inclinações longitudinais e ocupação no momento das campanhas) e ainda a diversidade de características geométricas dos mesmos.

Feita a caracterização da área de estudo, procedeu-se ao levantamento dos dispositivos intercetores, o qual pode ser analisado na secção seguinte.

### 4.3 Levantamento dos dispositivos de interceção

O levantamento dos dispositivos de interceção e hidrantes foi feito em todo o *campus* da Alameda do IST, tendo sido aprofundado nas zonas de estudo anteriormente mencionadas. Na Figura 4.2 encontra-se a localização de todos os dispositivos intercetores, bem como a delimitação das zonas de estudo.

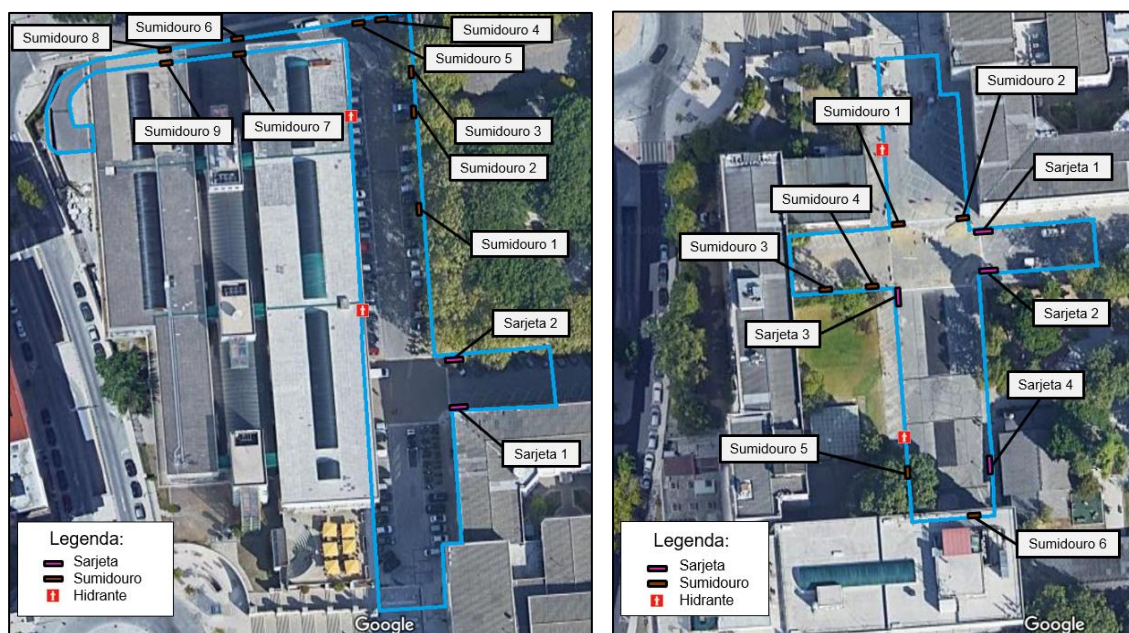


Figura 4.2 - Localização dos dispositivos intercetores e hidrantes: a) na zona do pavilhão de Civil; b) na zona do pavilhão de Matemática

Após o levantamento dos dispositivos de interceção e dos hidrantes, procedeu-se posteriormente à recolha das suas características geométricas, necessárias ao cálculo das suas eficiências. Mencione-se que, de forma a ser possível a aplicação da metodologia de cálculo, foi considerado que, para três ou mais barras transversais, o valor da variável  $m$  tomará sempre o valor 8.

### 4.4 Campanhas

A realização das campanhas teve como objetivo primário a comparação dos resultados obtidos na mesma com os obtidos teoricamente, ou seja, com os resultados obtidos pela aplicação da ferramenta

de dimensionamento dos dispositivos intercetores. Para tal foi feita a escolha dos dispositivos, com base nos seguintes critérios:

- fornecimento de água: a escolha dos dispositivos analisados foi feita com base na proximidade de hidrantes, uma vez que assim é possível originar caudais suficientemente grandes para que os resultados fossem plausíveis;
- características geométricas: com o intuito de verificar se existiam alterações significativas provocadas pelas mesmas, tentou-se optar por dispositivos com diferentes características geométricas entre si (número de barras transversais, distanciamento entre o dispositivo e o lancil e inclinação longitudinal do terreno);
- variabilidade do tipo de dispositivos intercetores.

Com base nestes critérios, foram escolhidos cinco dispositivos de interceção. Refira-se que a inexistência de uma sarjeta nestes dispositivos prendeu-se essencialmente com a dificuldade de fornecer água para se realizarem os testes. Por outro lado, não existiam sumidouros com depressão nas imediações de um hidrante (nestas e noutras zonas do *campus* Alameda do IST). As características geométricas e a sua localização encontram-se na Tabela 4.1. Na Figura 4.3 encontram-se fotos retiradas, no local, aos dispositivos em questão.

*Tabela 4.1 - Características geométricas dos dispositivos intercetores utilizados na campanha*

Designação dispositivo intercetor	$B_{\text{dispositivo}}$	$d_1$	Nº de barras transversais ao escoamento	$L_{\text{dispositivo}}$	Tipo de dispositivo intercetor
Sumidouro 2 Civil	0,27	0,10	Superior a 3	0,52	Sumidouro sem depressão
Sumidouro 5 Civil	0,30	0,02	1	0,64	Sumidouro sem depressão
Sumidouro 6 Civil	0,31	0,18	2	0,61	Sumidouro sem depressão
Sumidouro 5 Matemática	0,22	0,04	Superior a 3	0,68	Sumidouro sem depressão

Para a realização das campanhas, foram necessárias réguas, colocadas no lancil ou na parede (no caso do sumidouro 2 e 5 de civil), com o intuito de medir a altura de escoamento a montante e jusante do dispositivo de interceção; traçadores de velocidade, de forma a possibilitar a medição da velocidade de escoamento e utilização de tripés e telemóveis, um a montante e outro a jusante, de forma a poder filmar a bola a ser largada, bem como a altura de escoamento. Na Figura 4.4, encontra-se um exemplo da colocação das réguas na realização da primeira campanha.

Importa mencionar ainda que, de forma a facilitar a leitura da altura de escoamento, tanto a montante como a jusante, se optou por se acentuar as marcas existentes nas réguas.



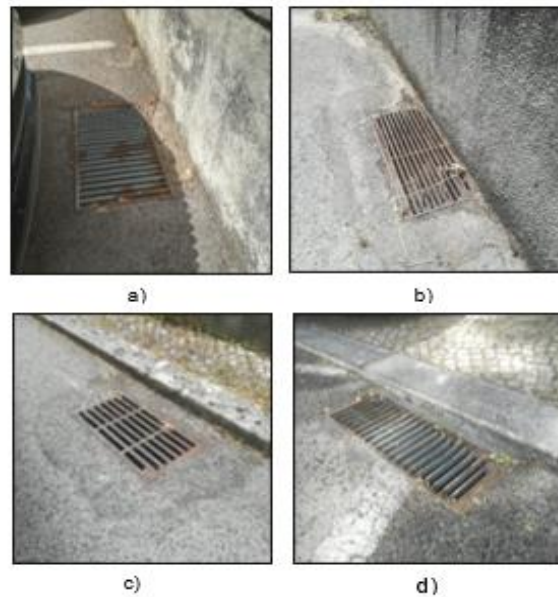


Figura 4.3 - Dispositivos utilizados na campanha: a) sumidouro 2 (Civil); b) sumidouro 5 (Civil); c) sumidouro 6 (Civil); d) sumidouro 5 (Matemática)



Figura 4.4 - Colocação das réguas a montante e jusante para a campanha relativa ao sumidouro 2 de Civil

Tal como já foi mencionado, o fornecimento de água foi feito recorrendo a um hidrante, ao qual foi acoplada uma mangueira que permitisse caudais suficientemente grandes para ser possível a realização dos testes, com o apoio do Núcleo de Segurança, Higiene e Saúde do IST. Por forma a obter valores da eficiência recorrendo à ferramenta de cálculo, foi necessária a obtenção do caudal afluente aos dispositivos interceptores, o qual foi determinado recorrendo ao tempo de enchimento que a água proveniente do hidrante levaria a encher um balde de 20 litros.

Durante as campanhas, foram filmadas as zonas imediatamente a montante e a jusante dos dispositivos interceptores, com recurso a um telemóvel de cada lado, de forma a captar tanto a altura como a velocidade de escoamento. Para esta última, selecionaram-se dois pontos facilmente captados pela câmara (os quais dependiam do dispositivo), medindo-se a distância entre eles, e medindo o tempo que o traçador de velocidade demorava a percorrer essa mesma distância.

Terminadas as primeiras campanhas, recorreu-se às filmagens efetuadas para medir a altura de escoamento registada na régua e o comprimento dos pontos de referência adotados e a distância entre eles. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Variáveis necessárias para a determinação das eficiências registadas na primeira campanha

Dispositivo	Localização	$h_{\text{escoamento}}$ [m]	Comprimento secção referência [m]	$t_{\text{seção referência}}$ [s]	$V_{\text{escoamento}}$ [m/s]	$i_{\text{longitudinal}}$ [m/m]	$d_1$ [m]
Sumidouro 2 Civil	Montante	0,02	0,77	2,86	0,269	0,11	0,10
	Jusante	0,01	0,46	2,93	0,157		
Sumidouro 5 Civil	Montante	0,02	1,00	1,16	0,862	0,14	0,03
	Jusante	0,01	0,89	2,72	0,327		
Sumidouro 6 Civil	Montante	0,03	0,90	0,15	6,000	0,249	0,18
	Jusante	0,01	1,08	1,84	0,587		
Sumidouro 5 Matemática	Montante	0,01	0,86	0,93	0,925	0,045	0,07
	Jusante	0,00	0,00	0,00	0,000		

Uma vez que os resultados da primeira campanha não apresentaram valores satisfatórios, tema que será aprofundado no subcapítulo referente à análise de resultados, procederam-se a novas campanhas, desta vez aos sumidouros 2 e 5 de Civil, por se ter verificado que seriam menos suscetíveis de ocorrer os erros registados na primeira campanha. As variáveis necessárias para a determinação das eficiências dos sumidouros 2 e 5 de civil na segunda campanha encontram-se na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Variáveis necessárias para a determinação das eficiências registadas na segunda campanha

Dispositivo	Localização	$h_{\text{escoamento}}$ [m]	Comprimento secção referência [m]	$t_{\text{seção referência médio}}$ [s]	$V_{\text{escoamento}}$ [m/s]	$i_{\text{longitudinal}}$ [m/m]	$Q_{\text{afluente hidrante}}$ [m <sup>3</sup> /s]
Sumidouro 2 Civil (Medição 1)	Montante	0,03	4,00	3,49	1,15	0,11	0,00916
Sumidouro 2 Civil (Medição 2)	Montante	0,03	4,00	3,56	1,13	0,11	0,00870
Sumidouro 5 Civil	Montante	0,03	2,60	3,96	0,66	0,14	0,00810

## 4.5 Análise de Resultados

Os resultados da primeira campanha efetuada no IST permitiram comparar os valores obtidos com os valores alcançados pela metodologia de cálculo abordada no capítulo 3.

O caudal a montante e a jusante foi calculado com recurso à equação de Manning-Strickler (4.1), com as devidas alterações para a sua aplicação em valetas.

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) \frac{y_0^2 \tan \theta_0}{2} \left(\frac{y_0}{2}\right)^{2/3} J^{1/2} = \left(\frac{0,315}{n}\right) y_0^{8/3} \tan \theta_0 J^{1/2} \quad (4.1)$$

onde:

- $n$  - coeficiente de rugosidade de Manning, em  $m^{-1/3}s$ ;
- $y_0$  - altura de escoamento, a montante do dispositivo interceptor em análise, em m;
- $\Theta_0$  - ângulo que o plano do arruamento forma com o plano vertical ou com o lancil, em graus;
- $J$  - perda de carga.

Os valores obtidos para o caudal afluente do hidrante (determinado recorrendo ao tempo que um balde de 20l demora a encher), o caudal a montante e a jusante experimental, determinado pela equação 4.1 e as eficiências experimentais e teóricas de cada dispositivo encontram-se na Tabela 4.4.

*Tabela 4.4 - Eficiências dos dispositivos obtidas a partir das medições retiradas na primeira campanha*

Dispositivo	$Q_{\text{afluente hidrante}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{\text{montante experimental}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{\text{jusante experimental}}$ [m <sup>3</sup> /s]	Eficiência experimental	Eficiência teórica
Sumidouro 2 Civil	0,00467	0,00928	0,00146	84,25%	75,51%
Sumidouro 5 Civil	0,00545	0,00803	0,00126	84,25%	88,81%
Sumidouro 6 Civil	0,00692	0,03645	0,00195	94,66%	45,70%
Sumidouro 5 Matemática	0,00404	0,00115	0,00000	100,00%	99,45%

Pela análise dos valores apresentados, verifica-se que os valores fornecidos pela ferramenta de cálculo não correspondem, na maioria dos casos, aos fornecidos pela primeira campanha: por exemplo, pode-se constatar que o valor obtido para o Sumidouro 6 na Zona de Civil para a eficiência teórica é substancialmente inferior ao valor da eficiência prática, o qual poderá ser explicado pelo peso que o escoamento entre a grelha e o lancil,  $q_1$ , tem neste dispositivo. Lembra-se que este dispositivo apresenta uma distância bastante considerável em relação ao lancil. Por outro lado, os valores obtidos pela medição do caudal afluente do hidrante são bastante diferentes dos valores de caudal a montante do dispositivo, enfatizando o facto de as campanhas não terem resultados satisfatórios.

Após a análise dos resultados da primeira campanha, procedeu-se à análise dos erros registados por forma a eliminar a probabilidade de ocorrência dos mesmos em campanhas futuras. Desta forma, destacam-se os seguintes problemas:

- utilização de régua com pouca visibilidade. Sugere-se assim que, numa próxima campanha, sejam feitas marcações mais perceptíveis recorrendo, por exemplo, a um papel branco de maiores dimensões e plastificado;
- pouca distância para medição do tempo dispendido entre dois pontos para determinação da velocidade de escoamento; verificou-se também que não foram retirados múltiplos valores de tempo para o mesmo dispositivo, por forma a verificar a manutenção de valores constantes de caudal afluente, bem como a eliminação de potenciais erros de medição. Assim, sugere-se, para futuras campanhas, a consideração de diversas repetições para o mesmo dispositivo;
- ocorrência de espriamento do escoamento (Figura 4.5), dificultando a tarefa de recolha de dados, bem como a sua validação. Neste sentido, surgem duas recomendações: a utilização de caleiras a montante que permitam o direcionamento do escoamento e impeça o fenómeno anteriormente referido; e a escolha dos dispositivos, uma vez que dispositivos com um



distanciamento considerável em relação ao lancil do passeio apresentam dificuldades acrescidas quando se trata de comparar os valores retirados da ferramenta de cálculo com os experimentais, pela dificuldade em medir esta parcela;

- existência de alguns resíduos nas valetas, que conduzem à obstrução dos dispositivos de interceção. Sugere-se assim trabalhos de limpeza mais aprofundados nas zonas adjacentes aos dispositivos;
- dificuldade na leitura do caudal proveniente do hidrante, por não ser perceptível qual o momento em que o balde atinge a sua capacidade máxima. Recorda-se o leitor que este valor foi obtido através da medição do tempo necessário para o enchimento de um balde de 20 litros. Deste modo, sugere-se a utilização de um balde de maiores dimensões e ainda o controlo, tanto quanto possível, do caudal proveniente do hidrante.



*Figura 4.5 - Espriamento visível na campanha realizada a jusante do sumidouro 6 da zona de Civil*

Analisados os erros ocorridos na primeira campanha, procedeu-se à realização de uma segunda campanha, que permitiu assim efetuar nova comparação entre os valores experimentais e os teóricos. Nesta segunda campanha optou-se por se realizar medições no sumidouro 2 e 5 de Civil. Assim, para além do número de dispositivos, procederam-se às seguintes alterações:

- recorreu-se a uma caleira por forma a direcionar o escoamento para o sumidouro, garantindo assim que a parcela referente ao escoamento exterior à grade, pelo arruamento, seja nula (ou seja,  $q_2 = 0$ ), como se constata na Figura 4.6.. Desta forma, foi também possível eliminar a ocorrência de espraiamento;
- procedeu-se à colocação de um objeto para impedir a existência de escoamento entre o lancil e a grade do dispositivo, por forma a que  $q_1 = 0$ , como se pode ver na Figura 4.6;
- foram executadas duas medições para o sumidouro 2 a fim de ser possível a comparação entre valores retirados. Foram também feitas múltiplas medições do tempo percorrido pelo traçador de velocidade no comprimento da secção de referência. Desta forma, foi possível a determinação do tempo médio percorrido na secção de referência;
- consideraram-se maiores comprimentos de secção de referência por forma a diminuir o erro proveniente da leitura do tempo percorrido pelo traçador de velocidade;
- utilizou-se um balde com capacidade superior para permitir uma leitura mais rigorosa do caudal afluente do hidrante;
- optou-se por uma folha branca com marcações mais visíveis e plastificada por forma a medir, com maior precisão, a altura de escoamento, como se exemplifica na Figura 4.7.



Figura 4.6 - Colocação de caleira e de objeto por forma a encaminhar o escoamento para o sumidouro



Figura 4.7 - Utensílio utilizado para medição da altura de escoamento

Desta forma, foram obtidos os resultados presentes na Tabela 4.5 para a segunda campanha:

Tabela 4.5 - Resultados obtidos com a segunda campanha realizada

Dispositivos (Medições)	$Q_{\text{afluente}}$ hidrante [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{\text{captado}}$ teórico [m <sup>3</sup> /s]	Eficiência experimental	Eficiência teórica ( $q_1 = 0$ e $q_2 = 0$ )
Sumidouro 2 Civil (Medição 1)	0,00916	0,00898	100%	99,89%
Sumidouro 2 Civil (Medição 2)	0,00870	0,00856	100%	99,89%
Sumidouro 5 Civil	0,00810	0,00569	100%	99,97%

Após a análise destes resultados, é possível constatar que os valores obtidos pela via experimental são bastante próximos dos valores obtidos pela via teórica, o que valida os valores obtidos pela metodologia abordada no Capítulo 3. No entanto, realça-se que os valores apresentados na Tabela 4.5 foram obtidos seguindo criteriosamente os procedimentos já abordados para esta campanha e que podem ser difíceis de recriar num contexto de uma chuvada real, sem a interferência de qualquer agente externo, como aconteceu nestas campanhas. Refira-se ainda que não foi possível a realização de campanhas em dispositivos com tipologias diferentes, como sumidouros com depressão, sumidouros duplos, sarjetas e combinação de sumidouro e sarjeta. Assim poderá ser interessante, em trabalhos futuros, realizar campanhas que possam avaliar a metodologia abordada no Capítulo 3 para estes dispositivos.

# 5 APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO: RUA DE SANTA MARTA A RUA DAS PORTAS DE SANTO ANTÃO

## 5.1 Considerações iniciais

A modelação dinâmica de fenómenos da drenagem urbana constitui uma abordagem particularmente interessante para verificar o funcionamento de sistemas de drenagem existentes. Como já foi referido, modelos dinâmicos mais complexos permitem obter resultados com maior rigor. No entanto, a eficiência dos dispositivos interceptores é negligenciada no processo de conceção destes modelos. Assim, com o intuito de analisar o impacto dos dispositivos de intercepção nestes modelos, procedeu-se à seleção de uma zona da cidade de Lisboa referenciada pelas recorrentes inundações na secção de jusante, recorrendo para tal ao software SWMM.

## 5.2 Caracterização da área de estudo

Para a realização deste estudo, e com o intuito de avaliar o impacto da capacidade dos dispositivos interceptores, optou-se por analisar o troço compreendido entre Rua de Santa Marta e a Rua das Portas de Santo Antão, uma vez que este local apresenta problemas de captação do escoamento superficial, contribuindo frequentemente para inundações, nomeadamente no final do troço, junto ao Coliseu de Lisboa. O local de estudo localiza-se na bacia J do Plano Geral de Drenagem de Lisboa, tratando-se de um arruamento paralelo à Avenida da Liberdade. Estes problemas são acentuados pelo facto de afetarem também áreas adjacentes, tais como a zona do Rossio e a Avenida da Liberdade, aumentando assim a necessidade de resolução destes fenómenos. Na Figura 5.1 encontra-se a localização da bacia J na cidade de Lisboa, bem como o coletor em análise (a azul) e bacias associadas.

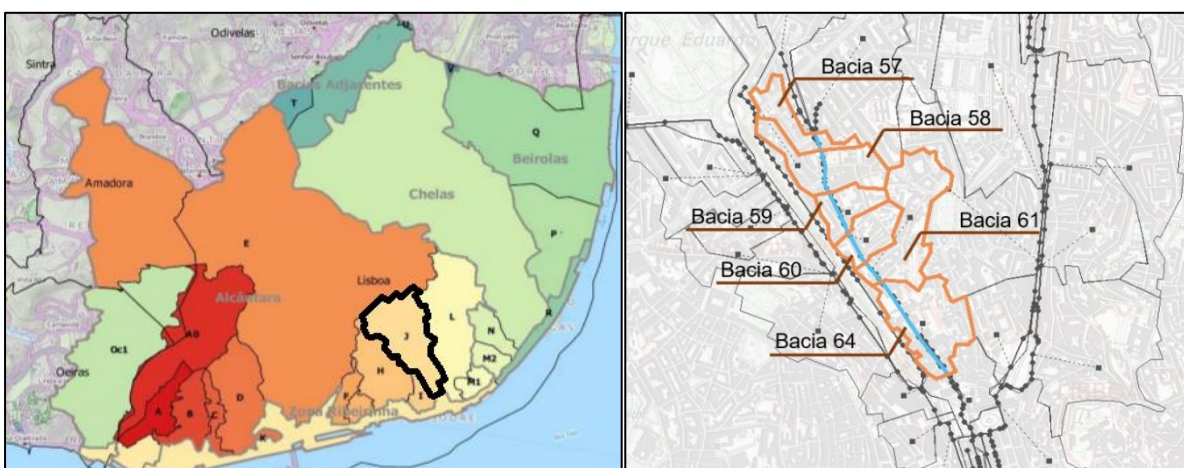


Figura 5.1- Zona de estudo: a) localização da bacia J na cidade de Lisboa; b) limitação da zona de estudo (a azul) bem como das bacias a analisar (adaptado de (Matos et al. 2018))

Analisando os resultados da simulação realizada em SWMM, fornecida pela Professora Doutora Filipa Ferreira, para períodos de retorno de 2 e 10 (situação mais condicionante) para a situação atual (sem

quaisquer intervenções), permitem identificar, para eventos com período de retorno de 10 anos, que existe falta de capacidade de alguns troços do coletor na Rua de Santa Marta a Rua das Portas de Santo Antão, em particular na rua de São José e na Rua das Portas de Santo Antão, onde se constata a entrada em carga de alguns troços e extravasamentos em certos pontos. No entanto, como já foi referido, o *software* admite que todo o escoamento gerado numa determinada bacia passa a ser transportado pelo coletor num determinado ponto fictício, o que não corresponde à realidade. Desta forma, prevê-se que os problemas recorrentes na zona possam ser, em parte, explicados pela insuficiente capacidade de captação dos dispositivos intercetores e não pela capacidade de transporte do coletor.

Assim, procedeu-se ao levantamento dos dispositivos de interceção das Ruas de Santa Marta, de São José e arruamentos confluentes, com o intuito de avaliar a densidade dos mesmos, bem como a sua tipologia e o seu estado de conservação/ manutenção.

### 5.3 Levantamento dos dispositivos de interceção

A avaliação do impacto da eficiência do escoamento superficial no volume transportado pelos coletores pluviais no caso de estudo está dependente do correto levantamento dos dispositivos de entrada existentes no arruamento em questão, bem como dos arruamentos confluentes. Para tal, recorreu-se ao levantamento com recurso a fotografias que permitiram, posteriormente, localizar e caracterizar os dispositivos no Google Maps. Posteriormente, estes dados foram introduzidos no *software* QGIS, bem como a informação referente às bacias hidrográficas existentes no local. Após a divisão das bacias, voltou-se a inserir as sub-bacias resultantes no modelo SWMM, bem como as suas características (área, percentagem de área impermeável, largura, inclinação (em percentagem) e ponto de entrada do escoamento superficial para os coletores). A distribuição dos dispositivos e as sub-bacias resultantes da divisão das bacias encontra-se na Figura 5.2.

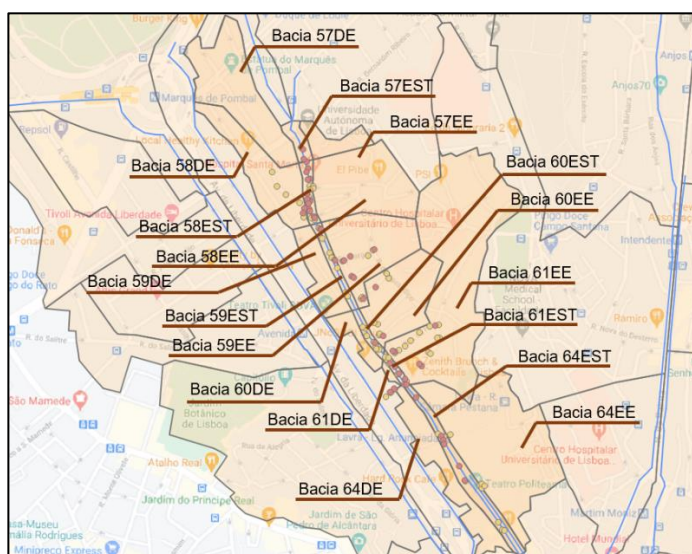


Figura 5.2 - Distribuição espacial dos dispositivos intercetores e obtenção das sub-bacias resultantes da divisão das bacias existentes



Pela análise da distribuição dos dispositivos de entrada na área de estudo, verificou-se uma clara concentração destes na zona referente ao arruamento da Rua de Santa Marta a Rua de Portas de Santo Antão, ao passo que os arruamentos confluentes, a sua densidade é menor. Assim, de forma a contabilizar a assimetria desta distribuição, procedeu-se à divisão de cada bacia em três partes: uma correspondente à área associada ao arruamento (EST), e outras duas partes associadas às parcelas resultantes dessa divisão (EE referente à esquerda do escoamento e DE referente à direita do escoamento). Para além do levantamento da localização dos dispositivos e das bacias hidrográficas, procedeu-se ao levantamento dos valores da geometria do dispositivo em questão, bem como de todas as variáveis necessárias para a determinação da eficiência dos mesmos, tal como se constata na Figura 5.3. Os valores das variáveis necessárias para cada de cada dispositivo, a sua tipologia e o número dos mesmos em cada sub-bacia encontram-se nas Tabelas 5.1 a 5.12. As sub-bacias 57EE, 57DE, 59DE, 60DE, 61DE e 64DE não se encontram representadas nas tabelas por não apresentarem qualquer dispositivo de entrada com as características dos dispositivos abordados nesta dissertação.



Figura 5.3 – Exemplo de levantamento dos dispositivos intercetores, bem como das variáveis necessárias para a determinação da sua eficiência

Tabela 5.1 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos intercetores existentes na sub-bacia 57EST

Sub-bacia 57EST

Tipo de dispositivo	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	Número de dispositivos
sarjeta sem depressão	0,70	-	-	-	3
sumidouro sem depressão	0,61	0,70	> 3	0,28	1

Tabela 5.2 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos intercetores existentes na sub-bacia 58EE

Sub-bacia 58EE

Tipo de dispositivo	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	Número de dispositivos
sarjeta sem depressão	0,56	0,48	> 3	0,31	2

Tabela 5.3 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 58DE

Sub-bacia 58DE

Tipo de Dispositivo	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	Número de dispositivos
sumidouro sem depressão	0,59	0,06	2	0,30	1
sumidouro sem depressão	0,63	0,04	3	0,20	1
sumidouro duplo					1
1º sumidouro	0,59	0,06	2	0,30	
2º sumidouro	0,59	0,06	2	0,30	
sumidouro sem depressão	0,61	0,03	2	0,32	2
sarjeta sem depressão	0,62	-	-	-	1
sarjeta sem depressão	0,43	-	-	-	1

Tabela 5.4 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 58EST

Sub-bacia 58EST

Tipo de Dispositivo	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	Número de dispositivos
sarjeta sem depressão	0,70	-	-	-	9
sumidouro duplo					1
1º sumidouro	0,62	0,02	2	0,32	
2º sumidouro	0,58	0,02	> 3	0,32	
sumidouro sem depressão	0,62	0,14	2	0,32	1
sumidouro sem depressão	0,62	0,02	2	0,32	1
sarjeta sem depressão	0,40	-	-	-	2
sumidouro sem depressão	0,62	0,03	2	0,17	2
sarjeta sem depressão	0,46	-	-	-	1

Tabela 5.5 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 59EST

Sub-bacia 59EST

Tipo de Dispositivo	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	Número de dispositivos
sumidouro sem depressão	0,61	0,07	> 3	0,28	1
sarjeta sem depressão	0,44	-	-	-	4
sumidouro sem depressão	0,66	0,11	2	0,16	2
sumidouro sem depressão	0,58	0,02	> 3	0,32	1
sumidouro sem depressão	0,66	0,05	2	0,16	1
sumidouro sem depressão	0,74	0,03	2	0,25	1
sumidouro duplo					1
1º sumidouro	0,62	0,16	2	0,42	
2º sumidouro	0,62	0,16	2	0,42	
sumidouro sem depressão	0,62	0,10	2	0,39	2

Tabela 5.6 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 59EE

Sub-bacia 59EE

Tipo de Dispositivo	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	Número de dispositivos
sumidouro sem depressão	0,66	0,05	2	0,25	1
sarjeta sem depressão	0,60	-	-	-	6
sumidouro sem depressão	0,75	0,03	2	0,25	1

Tabela 5.7 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 60EE

Sub-bacia 60EE

Tipo de Dispositivos	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	Número de dispositivos
sumidouro sem depressão	0,63	0,04	2	0,32	3
sarjeta sem depressão	0,55	-	-	-	1
sumidouro sem depressão	0,65	0,04	3	0,17	1
sumidouro sem depressão	0,66	0,05	2	0,25	2
sarjeta sem depressão	0,65	-	-	-	1

Tabela 5.8 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 60EST

Sub-bacia 60EST

Tipo de Dispositivo	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	Número de dispositivos
sumidouro sem depressão	0,60	0,10	2	0,41	2
sumidouro sem depressão	0,60	0,05	> 3	0,25	1
sumidouro sem depressão	0,62	0,03	2	0,33	3
sarjeta sem depressão	0,44	-	-	-	1
sumidouro sem depressão	0,62	0,23	2	0,33	1

Tabela 5.9 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 61EE

Sub-bacia 61EE

Tipo de Dispositivos	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	L <sub>2</sub> [m]	a <sub>s</sub> [m]	b <sub>s</sub> [m]	L <sub>1</sub> [m]	Número de dispositivos
sarjeta com depressão	0,65	-	-	-	0,1	0,03	0,03	0,13	2
sumidouro sem depressão	0,71	0,02	3	0,25	-	-	-	-	1
sumidouro sem depressão	0,62	0,04	2	0,32	-	-	-	-	8

Tabela 5.10 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 61EST

Sub-bacia 61EST					
Tipo de Dispositivo	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	Número de dispositivos
sumidouro sem depressão	0,62	0,03	2	0,33	2
sumidouro sem depressão	0,62	2,00	2	0,32	1
sumidouro sem depressão	0,61	0,12	> 3	0,28	1
sarjeta sem depressão	0,45	-	-	-	3
sarjeta sem depressão	0,54	-	-	-	2
sumidouro sem depressão	0,63	0,05	2	0,17	1
sarjeta sem depressão	0,69	-	-	-	1

Tabela 5.11 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 64EE

Sub-bacia 64EE					
Tipo de Dispositivo	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	Número de dispositivos
sumidouro sem depressão	0,62	0,07	2	0,31	5

Tabela 5.12 - Número, tipologia e dimensões dos dispositivos interceptores existentes na sub-bacia 64EST

Sub-bacia 64EST									
Tipo de Dispositivo	L [m]	d <sub>1</sub> [m]	Barras transversais	B [m]	L <sub>2</sub> [m]	a <sub>s</sub> [m]	b <sub>s</sub> [m]	L <sub>1</sub> [m]	Número de dispositivos
sarjeta com depressão	0,50	-	-	-	0,07	0,04	0,04	0,07	3
sarjeta sem depressão	0,45	-	-	-	-	-	-	-	2
sumidouro sem depressão	0,63	0,06	2	0,30	-	-	-	-	2
sumidouro sem depressão	0,74	0,03	2	0,25	-	-	-	-	1
sarjeta sem depressão	0,50	-	-	-	-	-	-	-	1
sarjeta sem depressão	0,65	-	-	-	-	-	-	-	2
sumidouro sem depressão	0,61	2,00	2	0,31	-	-	-	-	1
sumidouro sem depressão	0,61	1,22	2	0,31	-	-	-	-	2

## 5.4 Modelo SWMM

Para avaliar o impacto da eficiência dos dispositivos de interceção na zona de estudo, recorreu-se a um modelo SWMM já existente das bacias que continham a Rua de Santa Marta a Rua de Portas de Santo Antão. Desta forma, procedeu-se à recolha dos valores de escoamento superficial em cada bacia e, com estes valores, efetuou-se uma avaliação da dita eficiência ao longo do tempo.

Neste estudo, foi considerado um período de retorno de 2 e 10 anos. Assim, recorrendo às curvas IDF e ao posto udográfico IGIDL, foi possível obter os hietogramas para os períodos de retorno em questão, para uma duração total de 4 horas. Para o bloco central, foi considerada uma duração de 60 minutos



e, para os períodos antes e após o bloco central, foi considerada a relação volumétrica  $V_1 = 1,5 V_3$  (Matos 1987). Na Figura 5.4 encontram-se os hietogramas utilizados no modelo em questão.

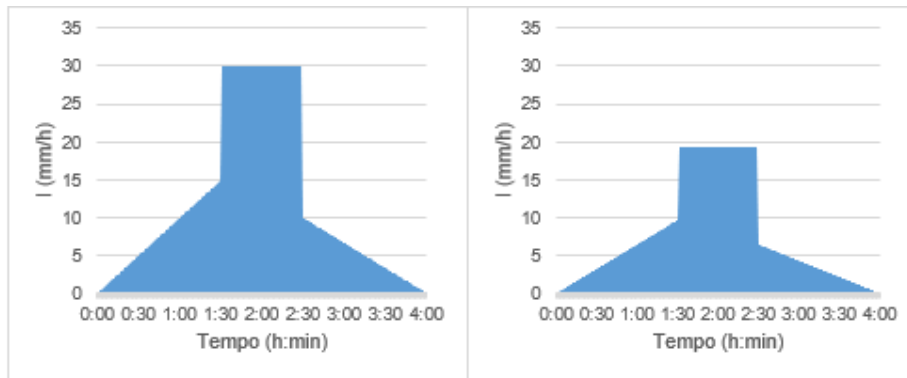


Figura 5.4 – Hietogramas de precipitação para o período de retorno de 10 (esquerda) e 2 anos (direita) utilizados no modelo em análise

Com vista à inserção da variável relativa à eficiência hidráulica dos dispositivos de intercepção, foi considerada a metodologia ilustrada na Figura 5.5, que será aprofundada neste subcapítulo.

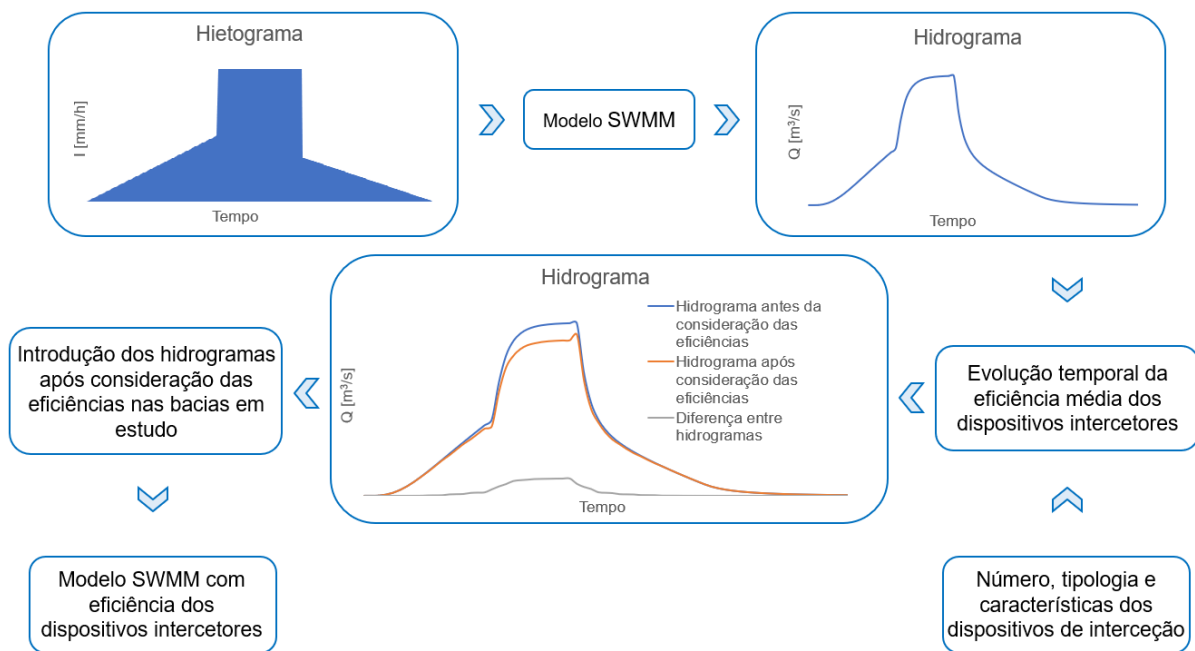


Figura 5.5 - Metodologia utilizada para introdução da variável das eficiências dos dispositivos de entrada no caso de estudo

O primeiro passo, após a divisão das bacias em análise, foi correr o modelo SWMM disponível, recorrendo aos hietogramas acima referidos, para períodos de retorno de 10 e 2 anos. Desta forma, foi possível retirar os valores de escoamento registado, de 5 em 5 minutos, para cada sub-bacia resultante do processo anteriormente descrito (57EE, 57DE, 75EST, etc.).

Com a obtenção do escoamento superficial em cada sub-bacia, foi possível analisar a eficiência dos dispositivos. Note-se que esta avaliação foi feita com base nos seguintes parâmetros:

- o escoamento superficial foi dividido uniformemente por todos os dispositivos existentes numa determinada bacia (ou seja, o caudal afluente a cada dispositivo foi calculado recorrendo à razão entre o escoamento superficial para um determinado período e o número de dispositivos interceptores existentes na sub-bacia);
- a inclinação longitudinal utilizada para cada dispositivo é igual à inclinação da sub-bacia em questão, independentemente da sua localização;
- o caudal afluente não captado por um determinado dispositivo não contribui para o caudal afluente do dispositivo seguinte. Esta simplificação facilita a aplicação da metodologia, porém não representa exatamente a realidade. No entanto, à partida, irá contribuir para eficiências superiores dos dispositivos por originar caudais afluentes menores, logo maiores eficiências globais das bacias. Convém assim salientar que, em contexto prático, as eficiências serão inferiores às registadas nesta metodologia;
- considerou-se que todos os dispositivos se encontravam em perfeito estado de conservação e completamente desobstruídos;
- a eficiência média de cada sub-bacia, para um determinado período, foi calculada através da média das eficiências de todos os dispositivos presentes na mesma. A eficiência de cada dispositivo foi feita recorrendo à metodologia abordada no capítulo 3.

Desta forma, foi possível obter o caudal que entra no coletor após a inserção da variável da eficiência dos dispositivos interceptores em cada sub-bacia, tendo em conta a variação do caudal afluente a cada dispositivo ao longo do tempo. Note-se que a corrida efetuada para o modelo foi executada para 24 horas. Na Figura 5.6 ilustra-se, simplificada, a metodologia para um determinado período, para a sub-bacia 57EST (com 4 dispositivos de entrada).

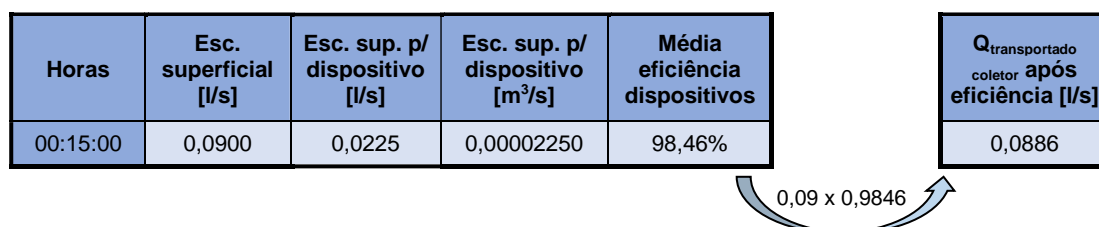


Figura 5.6 - Ilustração da metodologia utilizada para cálculo do caudal transportado pelo coletor após consideração da eficiência dos dispositivos interceptores

Após a obtenção da evolução temporal do caudal transportado pelo coletor, considerando a eficiência dos dispositivos interceptores, procedeu-se à execução dos hidrogramas com a dita eficiência. Estes hidrogramas contêm assim o caudal que foi efetivamente captado pelos dispositivos, ou seja, o caudal que será transportado pelo coletor. Desta forma, a diferença entre o hidrograma resultante da primeira corrida e o hidrograma resultante desta metodologia permite obter o escoamento superficial.

Por forma a analisar o impacto da escolha da tipologia dos dispositivos de entrada, procedeu-se também à avaliação de uma situação otimizada para T=10 anos, ou seja, foram feitas diversas modificações à situação atual para avaliar as implicações decorrentes desta:

- em todas as sub-bacias sem qualquer dispositivo de entrada (57EE, 57DE, 59DE, 60DE, 61DE e 64DE) foram inseridos apenas 3 sumidouros duplos sem depressão. A escolha prende-se ao facto de apresentar eficiências relativamente elevadas e por não implicar introdução de depressões (ou seja, não implica trabalhos de repavimentação do arruamento); por outro lado, optou-se por sumidouros duplos por se constatar que, regra geral, os passeios apresentam altura insuficiente para a introdução de sarjetas, pelo que foi excluída a hipótese de considerar combinação de sumidouro e sarjeta;
- as sarjetas existentes no local (com e sem depressão) foram substituídas por sumidouros duplos sem depressão, por não implicarem repavimentação, como foi explicado no ponto anterior, e por apresentarem eficiências superiores à solução da combinação sumidouro e sarjeta sem depressão. Por outro lado, o mau estado de conservação da grande maioria das sarjetas existentes não permite o seu aproveitamento para a consideração desta última solução, como se constata na Figura 5.7;



*Figura 5.7 - Exemplo de estado de conservação de sarjeta encontrada no local de estudo*

Tendo por base estas alterações, foi então possível analisar as suas implicações. A metodologia utilizada para avaliação do impacto da eficiência na simulação dinâmica recorrendo ao SWMM, na situação otimizada, é em tudo semelhante à metodologia utilizada para a situação atual para períodos de retorno de 2 e 10 anos.

Os hidrogramas gerados com a eficiência dos dispositivos, para os 3 casos avaliados, foram inseridos na simulação SWMM, permitindo assim obter diversas conclusões sobre o impacto dos dispositivos interceptores na drenagem urbana, que serão analisadas no subcapítulo seguinte.

## **5.5 Análise de resultados e comparação com os valores teóricos**

Após a realização dos passos anteriormente descritos, procedeu-se à recolha dos dados fornecidos pelo SWMM, antes e depois da introdução da eficiência hidráulica dos dispositivos de intercepção na zona de estudo, para um período de retorno de 2 e 10 anos e ainda para a situação otimizada (para T=10 anos). Importa referir que os resultados são apresentados para o período de 2 horas e 40 minutos

após o início da simulação, em ambas as situações, por se tratar do momento em que, em todos os nós, o coletor atinge o máximo valor de escoamento superficial na simulação. Os resultados da eficiência média de cada sub-bacia, ao longo do tempo, encontram-se nos Anexos F, G e H. Os valores são apresentados de 15 em 15 minutos para melhor avaliação do panorama geral obtido na área de estudo para as diversas situações. Também se apresentam, nos Anexos I, J e K os hidrogramas de cheia de cada bacia, antes e após a realização deste estudo.

### Situação T = 2 anos

Nas Figuras 5.8 e 5.11 encontram-se, respectivamente, os perfis longitudinais para o coletor da Rua de Santa Marta a Rua das Portas de Santo Antão para T = 2 anos para a situação onde não é contabilizada a eficiência dos dispositivos interceptores e para a situação que tem em conta as ditas eficiências. Nas Figuras 5.9, 5.10, 5.12 e 5.13 encontram-se os troços onde a capacidade disponível para transporte é menor, para as situações acima descritas.

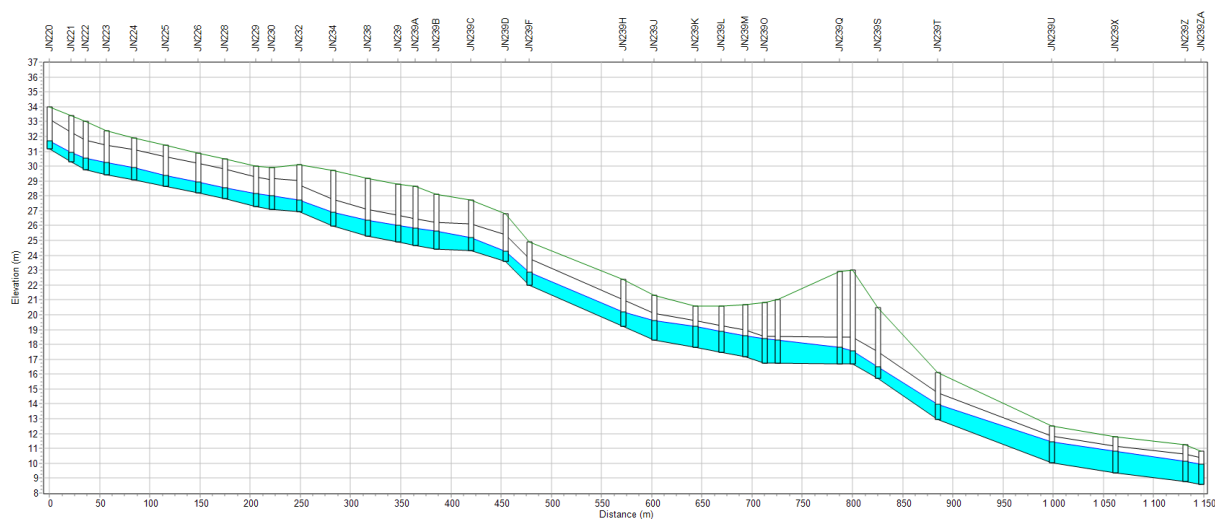


Figura 5.8 - Perfil longitudinal do coletor analisado no caso de estudo antes da consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos interceptores para um período de retorno de 2 anos

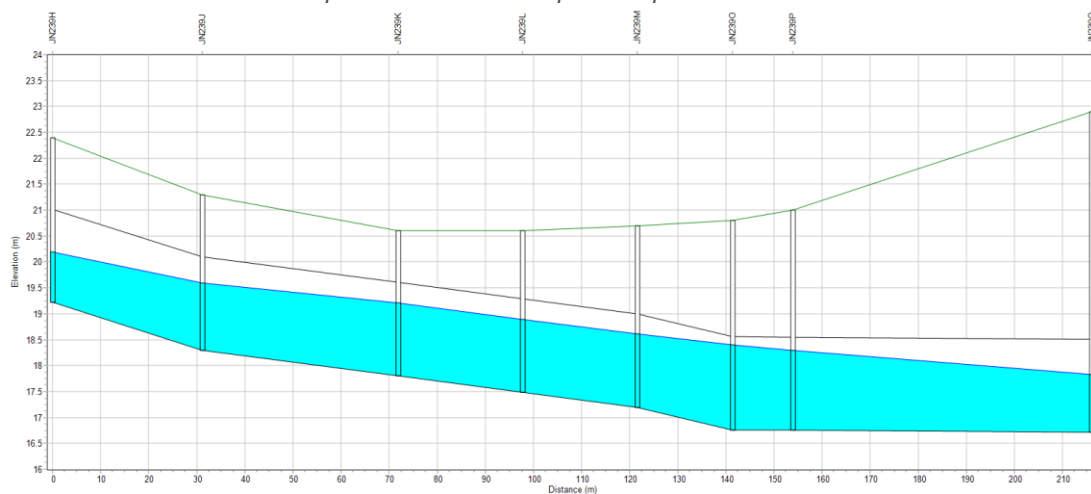


Figura 5.9 - Perfil longitudinal entre o nó JN239H e JN239Q antes da consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos para um período de retorno de 2 anos

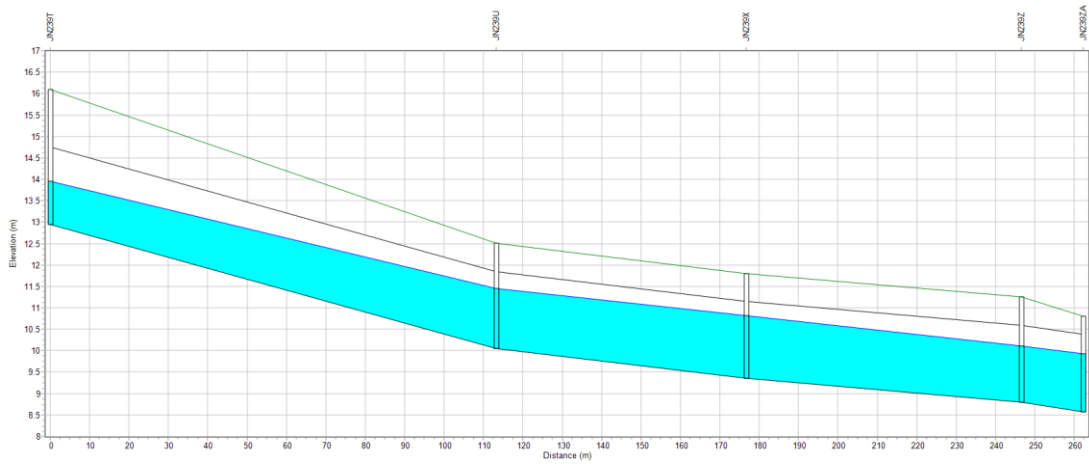


Figura 5.10 - Perfil longitudinal entre o nó JN239T e JN239ZA antes da consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos para um período de retorno de 2 anos

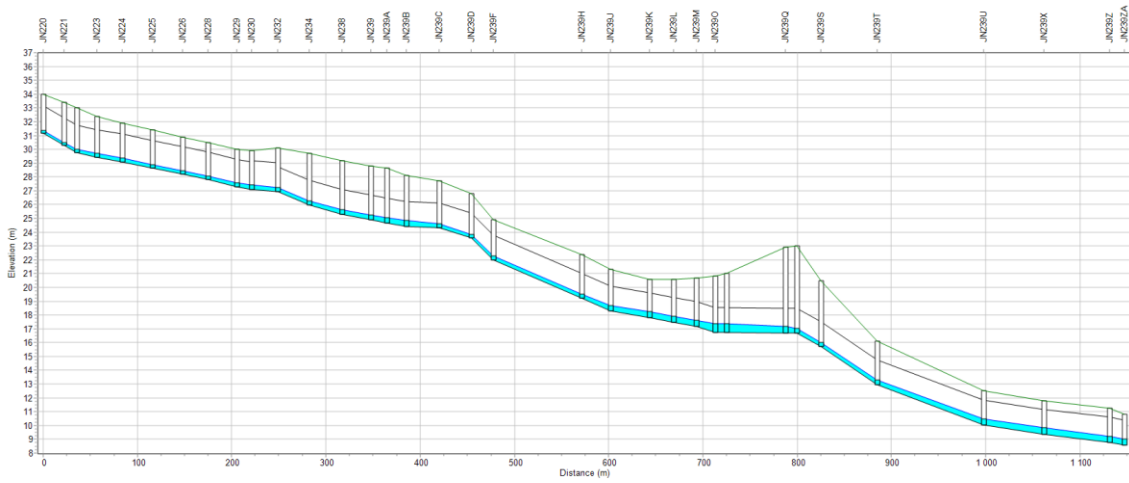


Figura 5.11 - Perfil longitudinal do coletor analisado no caso de estudo após consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos interceptores para um período de retorno de 2 anos

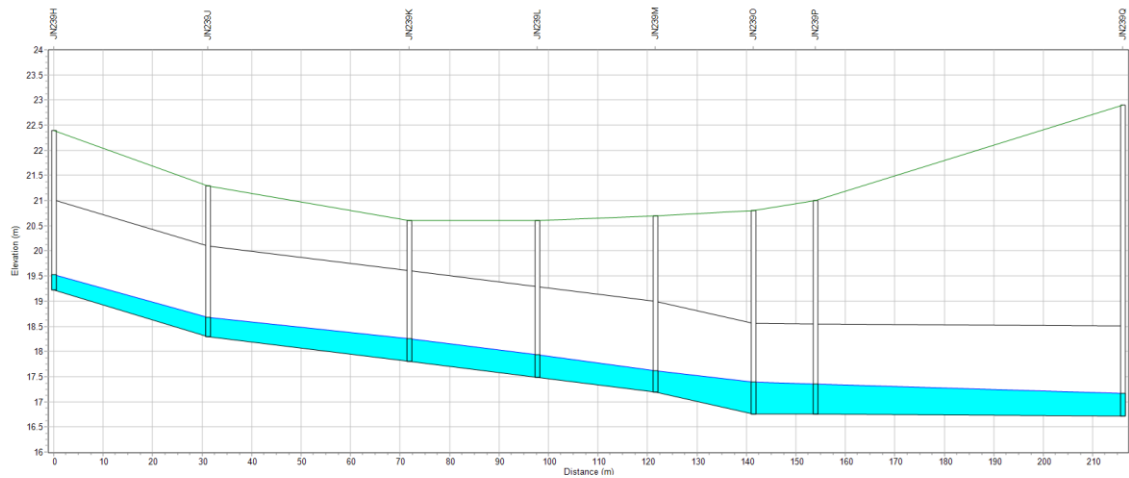


Figura 5.12 - Perfil longitudinal entre o nó JN239H e JN239Q após consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos para um período de retorno de 2 anos

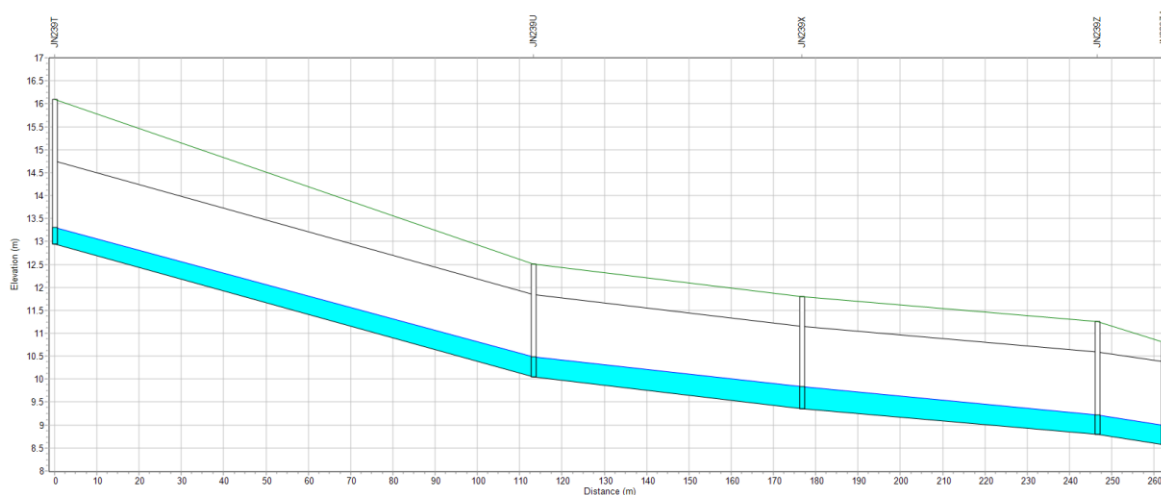


Figura 5.13 - Perfil longitudinal entre o nó JN239T e JN239ZA após consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos para um período de retorno de 2 anos

Pela análise dos resultados obtidos acima, é evidente a diferença entre a situação onde não é contabilizada a eficiência dos dispositivos interceptores (ou seja, a situação assumida pelo software SWMM) e a situação onde a eficiência dos dispositivos interceptores é contabilizada. Consta-se que, no caso onde as eficiências são tidas em conta, o coletor apresenta grande folga no que toca à sua capacidade de transporte de caudal, evidenciando assim que o problema das recorrentes inundações registadas no local em análise possam ser explicados pela incapacidade deste sistema de drenagem captar o escoamento superficial aí gerado.

A análise dos valores obtidos para a eficiência, para cada bacia, ao longo do tempo, presentes no Anexo F permite explicar os resultados obtidos: por um lado, existem diversas bacias sem qualquer dispositivo de entrada (57EE, 57DE, 58EE, 59DE, 60DE, 61DE e 64DE); por outro, verificou-se que várias bacias apresentavam dispositivos com baixas eficiências (57EST, 58DE, 59EE e 64EST). Tal deve-se ao facto de: nas sub-bacias 57EST e 59EE as sarjetas predominam (3 sarjetas num total de 4 dispositivos e 6 sarjetas em 8 dispositivos, respetivamente); e na sub-bacia 64EST existem 8 sarjetas num total de 20 dispositivos. No caso da sub-bacia 58DE existe uma combinação de situações que explicam os resultados: elevado escoamento superficial para o número de dispositivos existentes (recorda-se que o caudal afluyente a cada dispositivo foi calculado pela razão entre o escoamento superficial e o número de dispositivos) e pelo facto de existirem 2 sarjetas sem depressão num total de 7 dispositivos.

Desta forma é possível tirar várias conclusões: a escolha da tipologia dos dispositivos de entrada é crucial para a obtenção de sistemas de drenagem mais eficazes, uma vez que é notória a diferença de eficiências entre as bacias com maior número de dispositivos com baixas eficiências; conclui-se igualmente que a disposição dos dispositivos é crucial para a obtenção de eficiências satisfatórias num sistema de drenagem urbano, como, por exemplo, na bacia 58DE, onde a ineficácia nesta situação poderá ser explicada, em parte, pelo número insuficiente de dispositivos para o escoamento superficial aí gerado.

Estes dados obtidos permitem concluir que se poderá aperfeiçoar o funcionamento deste sistema através da introdução de um maior número de sumidouros, sumidouros duplos, ou mesmo a combinação de sumidouro e sarjeta por forma a minimizar o escoamento superficial. Menciona-se ainda que, como se constatou pela avaliação dos ábacos, é expectável que o funcionamento dos dispositivos piore substancialmente para maiores caudais afluentes, pelo que para períodos de retorno superiores, se espera que o transporte pela rede de coletores diminua em comparação com o escoamento superficial gerado. Assim, procedeu-se à avaliação da situação T = 10 anos.

### Situação T = 10 anos

Nas Figuras 5.14 e 5.17 encontram-se, respetivamente, os perfis longitudinais do coletor da Rua de Santa Marta a Rua das Portas de Santo Antão, para T = 10 anos para a situação onde não é contabilizada a eficiência dos dispositivos intercetores e para a situação que tem em conta as ditas eficiências. Nas Figuras 5.15, 5.16, 5.18 e 5.19 encontram-se os troços com nós em carga para as situações sem e com contabilização das eficiências médias dos dispositivos intercetores.

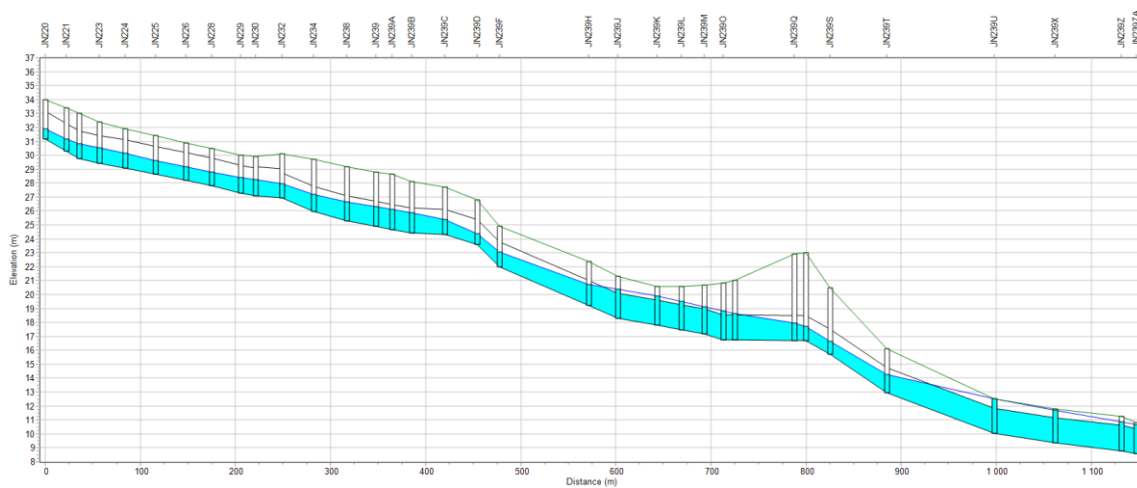


Figura 5.14 - Perfil longitudinal do coletor analisado no caso de estudo antes da consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos intercetores para um período de retorno de 10 anos

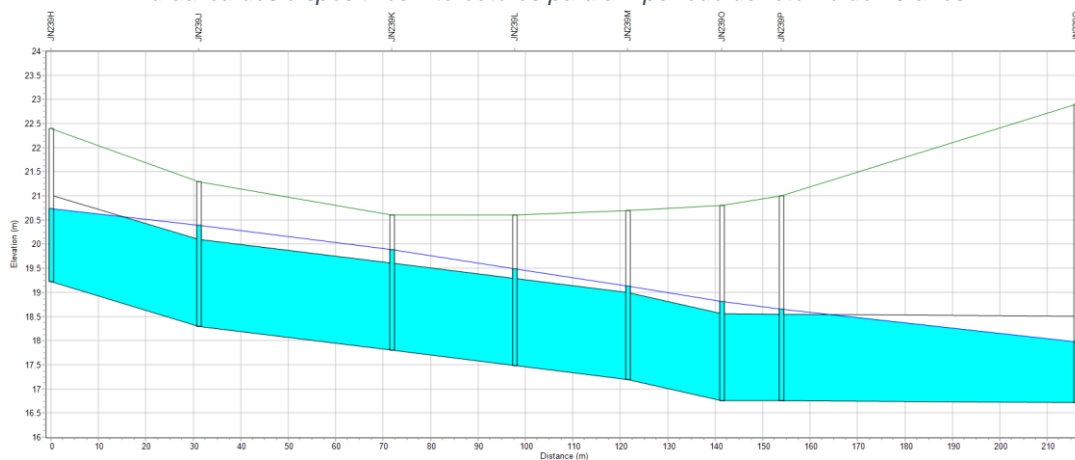


Figura 5.15 - Perfil longitudinal entre o nó JN239H e JN239Q antes da consideração da eficiência dos dispositivos intercetores para um período de retorno de 10 anos



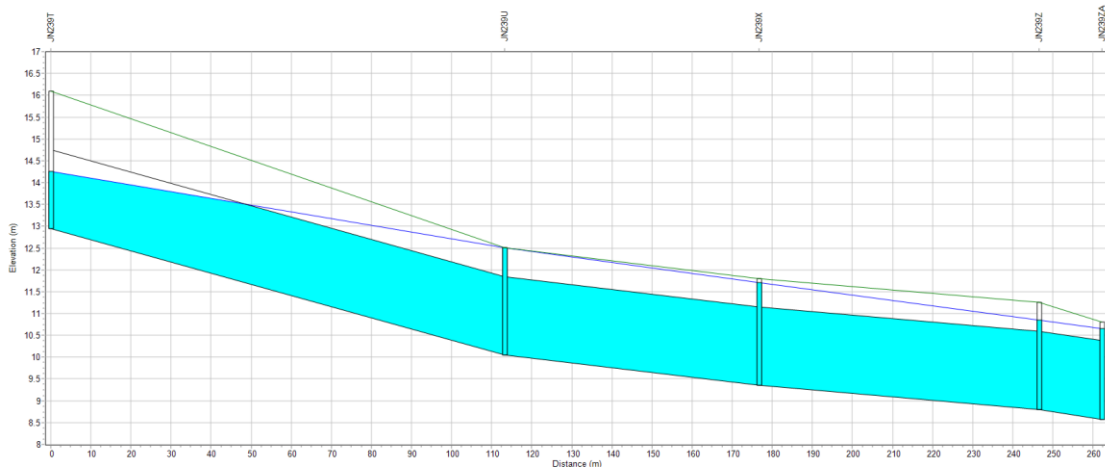


Figura 5.16 - Perfil longitudinal entre o nó JN239T e JN239ZA antes da consideração da eficiência dos dispositivos interceptores para um período de retorno de 10 anos

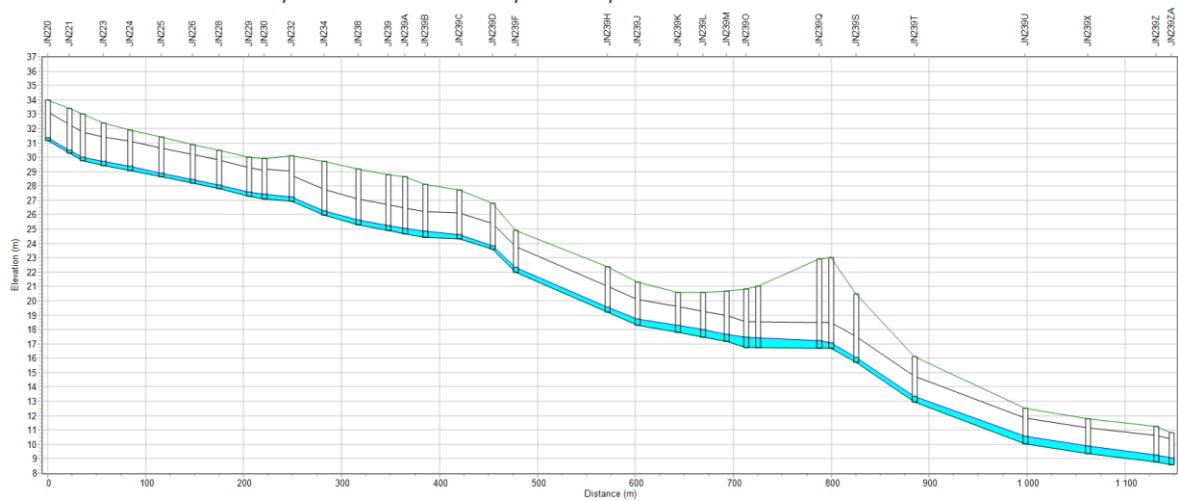


Figura 5.17 - Perfil longitudinal do coletor analisado no caso de estudo após consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos interceptores para um período de retorno de 10 anos

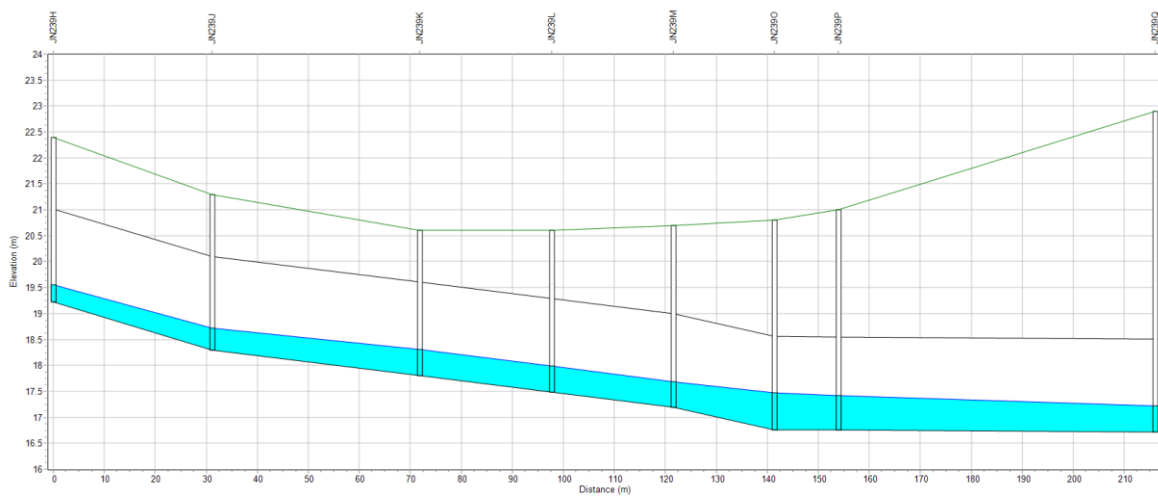


Figura 5.18 - Perfil longitudinal entre o nó JN239H e JN239Q após consideração da eficiência dos dispositivos interceptores para um período de retorno de 10 anos



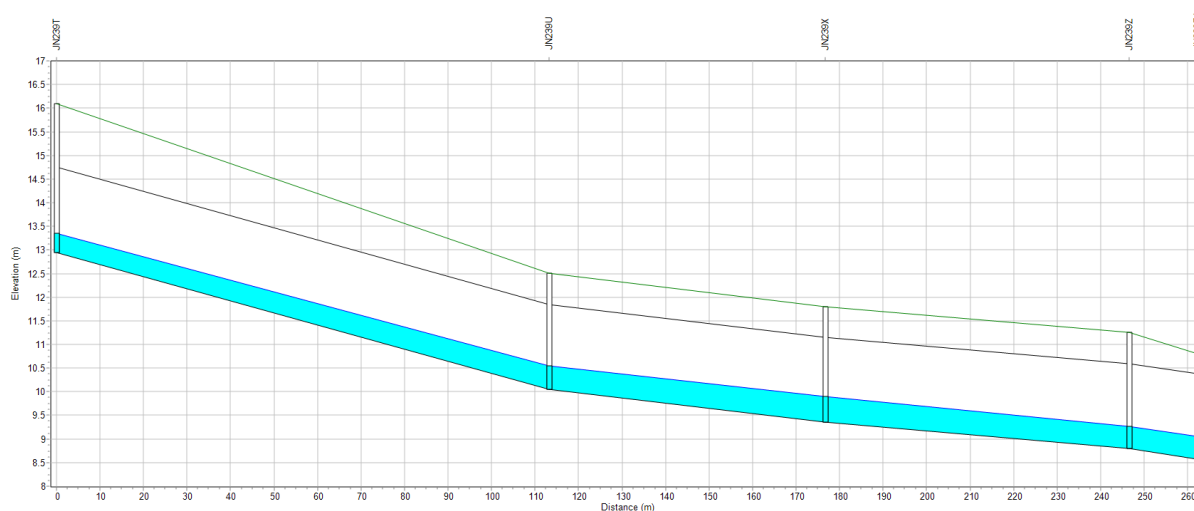


Figura 5.19 - Perfil longitudinal entre o nó JN239T e JN239ZA após consideração da eficiência dos dispositivos interceptores para um período de retorno de 10 anos

Tal como seria de esperar pelas variações registadas na eficiência dos dispositivos interceptores com o aumento dos caudais afluentes, verificam-se capacidades de captação desse caudal substancialmente menores, o que explica a diferença notória entre a situação antes e após a consideração das eficiências médias dos dispositivos interceptores, quando comparada com a situação  $T = 2$  anos, tal como se pode verificar pelos resultados das eficiências médias registadas em cada sub-bacia em Anexo G. Na verdade, as alterações registadas nos dois casos ( $T = 2$  e 10 anos) após a introdução das eficiências são irrisórias, o que origina, na situação em que a análise é efetuada para um período de retorno de 10 anos, que o rácio entre caudal transportado e escoamento superficial seja substancialmente inferior à situação anterior, originando inundações e potenciais acumulações de água em zonas baixas, provocadas pela fraca eficácia do sistema em passar o escoamento superficial para o coletor. Nesta situação, é ainda possível reiterar todas as conclusões adquiridas para a situação  $T = 2$  anos: a importância do número de dispositivos, da sua disposição e da sua tipologia para a otimização de sistemas de drenagem em meio urbano.

Neste sentido, e por forma a verificar o impacto da introdução de dispositivos de entrada em locais críticos e a importância da sua tipologia na melhoria de sistemas de drenagem urbanos, foi elaborada uma análise para a situação otimizada, como já foi descrita anteriormente, para um período de retorno de 10 anos.

### Situação $T = 10$ anos otimizada

Na Figura 5.20 encontra-se o perfil longitudinal do coletor da Rua de Santa Marta a Rua das Portas de Santo Antão, para  $T = 10$  anos para a situação onde é contabilizada a eficiência dos dispositivos interceptores e onde foram feitas alterações por forma a avaliar o impacto da introdução de dispositivos em locais críticos e a substituição de sarjetas por dispositivos mais eficientes. Nas Figuras 5.21, 5.22, encontram-se os troços onde a capacidade disponível para transporte é menor.

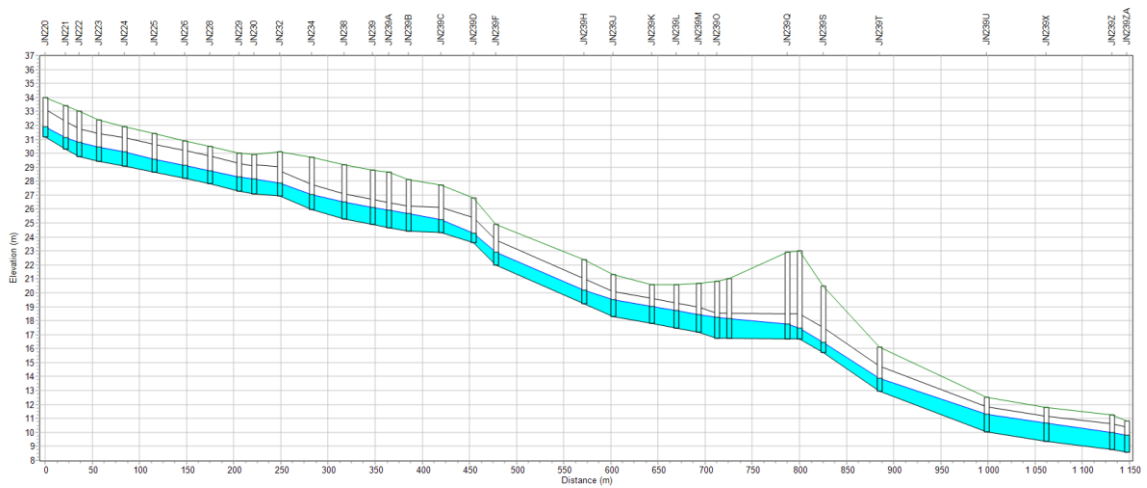


Figura 5.20 - Perfil longitudinal do coletor analisado para a situação otimizada do caso para um período de retorno de 10 anos

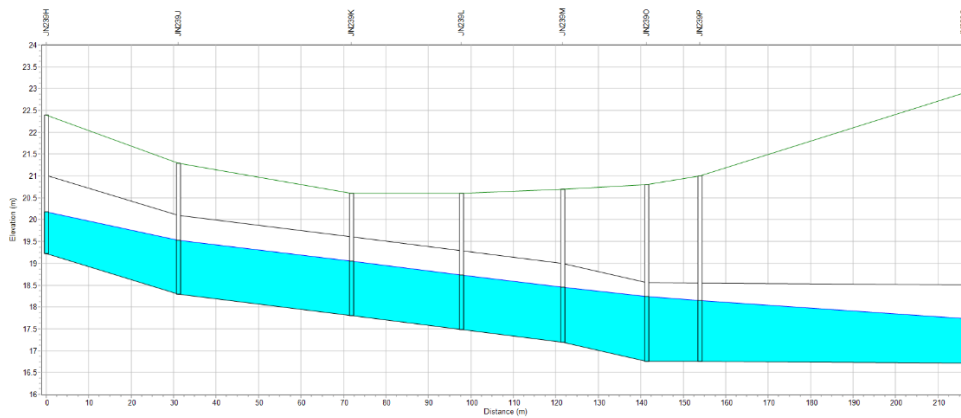


Figura 5.21 - Perfil longitudinal entre o nó JN23H e JN239Q para a situação otimizada para um período de retorno de 10 anos

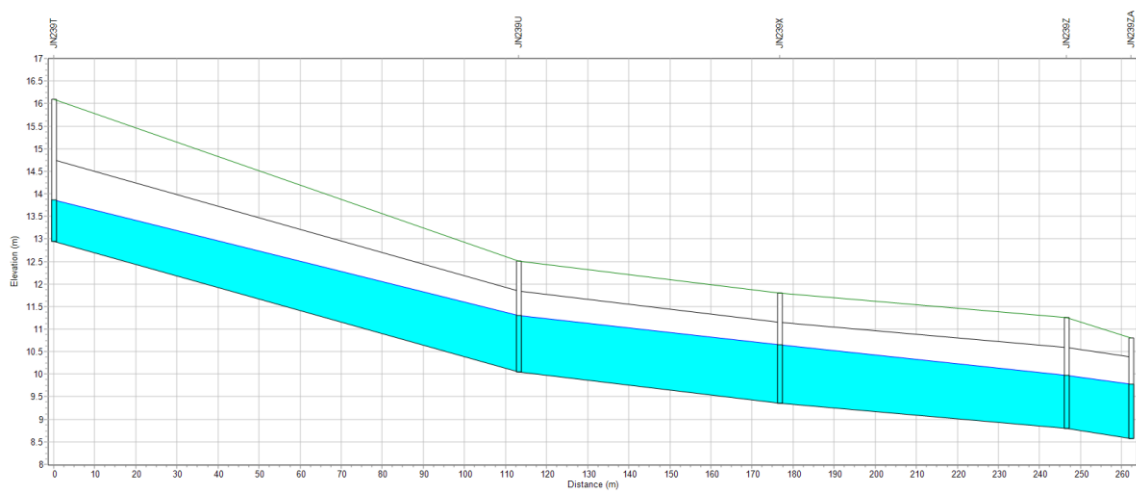


Figura 5.22 - Perfil longitudinal entre o nó JN23T e JN239ZA para a situação otimizada para um período de retorno de 10 anos

Analisando as Figuras 5.20, 5.21 e 5.22 são notórias as diferenças registadas entre a situação atual e a situação otimizada. Note-se que as alterações se devem à introdução de apenas 3 dispositivos em

sub-bacias onde não havia dispositivos de entrada e à substituição de sarjetas, com e sem depressão, por sumidouros duplos sem depressão. Assim, realça-se que a otimização de sistemas de drenagem passará, em parte, pela escolha da tipologia de dispositivos e pela introdução de um número destes dispositivos que satisfaça, ao mesmo tempo, critérios do foro económico e otimização de captação do escoamento superficial, por forma a minimizar estragos causados por inundações e acumulações em zonas baixas. Conclui-se ainda que, tal como foi feito nesta situação, a escolha dos dispositivos deverá ter em conta, para além da sua eficiência, uma análise da área a estudar, tais como topografia, características da envolvente (arruamentos na proximidade), ocupação do solo e características geométricas do arruamento e passeio. A análise da variação das eficiências dos dispositivos para cada bacia para a situação T = 10 anos otimizado encontra-se em Anexo H.

Pela análise das 3 situações, é ainda possível concluir que, apesar de úteis e de fácil utilização e acesso, por ser gratuito, os valores fornecidos pelo SWMM devem ser sempre analisados com as devidas cautelas: por um lado, que o facto de se considerar que o escoamento superficial é todo captado, induz ao erro de não se ponderar, na maioria dos casos, o excesso de escoamento superficial, que poderá afetar o bem-estar da população e dos edifícios adjacentes às zonas analisadas, aumentando os custos associados à reparação de danos causados pelas inundações; por outro, os valores apresentados pelo *software* poderão induzir o utilizador a não considerar a importância do dimensionamento dos sistemas urbanos de drenagem pluvial, e até mesmo de considerar que está a sobre dimensionar o sistema de drenagem, o que corrobora a necessidade da correta implementação dos dispositivos interceptores. Refere-se, no entanto, que a análise foi feita considerando que não haveria caudal transportado pelos coletores provenientes dos ramais referentes aos edifícios existentes no local de estudo, o que não corresponde à realidade e, à partida, irá incrementar o caudal transportado pela rede de coletores na situação em que se tem em conta a eficiência dos dispositivos interceptores.

Os resultados deste estudo realçam ainda a importância de outras problemáticas como, por exemplo, a relevância de uma manutenção adequada e atempada dos dispositivos de intercepção, uma vez que é comum a ocorrência de escoamento superficial decorrente da limpeza insuficiente dos mesmos, bem como a colocação indevida de objetos e automóveis, que inviabilizem o seu correto funcionamento. Ainda na mesma temática, é interessante refletir na tomada de decisão por parte dos engenheiros projetistas acerca da drenagem de águas pluviais em contexto predial, as quais são, em determinadas situações, encaminhadas para valetas, contribuindo para o escoamento superficial, em vez de serem direcionadas diretamente para os coletores enterrados, aumentando drasticamente o escoamento superficial que, em condições extremas, não será encaminhado, num curto espaço de tempo, para os coletores pluviais. Esta situação é visível no caso de estudo por ser uma zona antiga da cidade de Lisboa, o que explica, em certa parte, o agravamento da atual situação do arruamento analisado. O direcionamento do escoamento pluvial predial para o arruamento encontra-se representado na Figura 5.23.

Assim, para minimizar o impacto das chuvadas intensas no caso de estudo, sugere-se a sensibilização da população e das entidades competentes para a necessidade de uma correta limpeza e manutenção

dos dispositivos interceptores e, por outro lado, para a consciencialização dos projetistas para os impactos da não consideração e análise da tipologia, dimensão e densidade dos mesmos num contexto urbano, bem como de todas as redes que interferem ativamente na rede pluvial. Neste sentido, sugere-se, para este local, no caso de não se preverem trabalhos de repavimentação, a substituição das sarjetas por sumidouros duplos sem depressão e a introdução destes mesmos dispositivos em locais referenciados nesta dissertação pela baixa densidade de dispositivos de entrada. No entanto, caso se preveja, em determinados locais, obras de repavimentação ou de alteração da altura do lancil dos passeios, aconselha-se a introdução de sumidouros duplos com depressão ou mesmo da combinação de sumidouro e sarjeta com depressão com vista a aumentar a captação do escoamento superficial.



*Figura 5.23- Direcionamento do escoamento pluvial predial para o escoamento superficial no caso de estudo*

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

O crescimento populacional em determinados locais, associado ao aumento das grandes urbes, origina, inevitavelmente, um aumento das áreas impermeáveis que, por sua vez, proporcionam a um aumento do escoamento superficial. Assim, torna-se essencial o correto dimensionamento das redes de drenagem pluvial, bem como a manutenção e/ou reabilitação das infraestruturas existentes, salientando-se, neste documento, a necessidade de se avaliar a eficiência hidráulica dos dispositivos de interceção, por forma a otimizar a captação do caudal escoado superficialmente.

Assim, procedeu-se, numa primeira fase, à avaliação dos valores de eficiência hidráulica obtidos para cada dispositivo de entrada em análise (sumidouros simples e duplos, com e sem depressão, sarjetas com e sem depressão e combinação sumidouro e sarjeta com e sem depressão), para solicitações de caudal afluente distintas e diferentes inclinações longitudinais do arruamento. Desta forma, foi possível apresentar os valores obtidos em ábacos, permitindo verificar que a escolha do tipo de dispositivo a implementar depende do caudal afluente e de características do escoamento superficial, do local a analisar e das implicações económicas que estes dispositivos possam acarretar em projeto. A análise destes valores também permite constatar a importância das ações de manutenção e limpeza nestes dispositivos, uma vez que os valores apresentados foram determinados considerando que os mesmos se encontram totalmente desobstruídos e em perfeito estado de conservação. Neste sentido, os valores apresentados nos ábacos constituem a situação ótima para os respetivos dispositivos, o que poderá não se verificar na maioria das vezes.

Por forma a analisar o comportamento na prática, procedeu-se à realização de campanhas experimentais, com o intuito de determinar a capacidade de diversos dispositivos interceptores, no *campus* Alameda do Instituto Superior Técnico e assim comparar com a eficiência registada pela metodologia anteriormente aprofundada. A primeira campanha permitiu determinar a velocidade e a altura de escoamento a montante e a jusante dos dispositivos de interceção analisados (sumidouros com diferentes características geométricas) e, desta forma, proceder à determinação das suas eficiências hidráulicas e comparar com os valores obtidos nos ábacos presentes no capítulo 3. No entanto, após avaliação dos resultados obtidos nesta campanha constatou-se que a validade dos mesmos é questionável, uma vez que foram cometidos diversos erros no decorrer da mesma. Assim, procedeu-se à realização de uma segunda campanha que permitiu corrigir os problemas encontrados na primeira. No entanto, a maior conclusão retirada com a realização destas campanhas foi o facto de ser impossível recriar o comportamento da captação do escoamento superficial sem recorrer a um ambiente controlado (laboratório).

Por fim, procedeu-se à aplicação da ferramenta de cálculo abordada no capítulo 3 na modelação dinâmica de sistemas de drenagem pluvial, recorrendo para tal ao *software* SWMM. Neste trabalho, pretendeu-se analisar quais os impactos da consideração da eficiência hidráulica dos dispositivos de interceção na modelação de um troço do coletor na Rua de Santa Marta a Rua das Portas de Santo

Antão, por forma a comparar os valores obtidos antes da inserção desta variável e após a inserção da mesma, para um período de retorno de 2, 10 anos e ainda para a situação otimizada para um período de retorno de 10 anos. Para tal, houve necessidade de se proceder ao levantamento de todos os dispositivos interceptores na área de estudo e, com recurso à ferramenta de cálculo abordada neste documento, efetuou-se uma análise da eficiência destes dispositivos e, posteriormente, através da alteração dos hidrogramas inicialmente previstos para as bacias, procedeu-se à análise da capacidade dos coletores. A análise destes valores permitiu averiguar que o impacto destas componentes num sistema de drenagem pluvial é considerável: por um lado, verificou-se que existe uma diferença notória entre a situação da não consideração das eficiências e após as eficiências nos casos onde não foi feita qualquer alteração à situação atual, evidenciando que os problemas registados no local não se deverão à capacidade de transporte do coletor; por outro, a diferença registada nesta análise evidencia que uma grande parte da água precipitada não entra efetivamente no coletor, ou percorrerá grandes distâncias em escoamento superficial até ser captada. Esta Situação contribuirá para fenómenos de inundação das zonas baixas, com dados materiais nas áreas em questão, o que poderá explicar, em parte, os problemas frequentemente registados no local.

Na verdade, apesar dos resultados obtidos serem bastante notórios, importa realçar que, tal como foi considerado na ferramenta de cálculo, foram feitas determinadas simplificações: os dispositivos não se encontram obstruídos, pelo que toda a área contribui para a captação do caudal afluente; o caudal não captado pelo dispositivo em análise não passará a contribuir para o caudal do dispositivo de jusante; o caudal gerado pela precipitação seria dividido igualmente por todos os dispositivos pertencentes à mesma sub-bacia, entre outras. Com isto, pode-se ainda esperar que os valores de escoamento superficial possam ser superiores aos registados, evidenciando, mais uma vez, a importância da consideração destas componentes nos sistemas de drenagem urbana.

Outra conclusão a retirar desta análise coincide com uma conclusão do capítulo 3, reforçando-a: a escolha do tipo de dispositivos, bem como a sua correta implantação, são cruciais quando se pretende a otimização do desempenho de sistemas de drenagem pluviais ou unitários. Na verdade, pela análise do número de dispositivos e da sua tipologia, justifica-se em parte os reduzidos valores de captação registados, com ênfase nas sub-bacias com poucos sumidouros ou com dispositivos implantados de forma indevida (onde não se garante a otimização da captação do dispositivo).

Para a situação otimizada, conclui-se o que já se esperava após a análise dos dois outros casos: a alteração de sarjetas por dispositivos com maiores eficiências (neste caso sumidouro duplo sem depressão) contribui para uma melhoria substancial no que toca à captação do escoamento superficial. Por outro lado, permitiu também concluir que a distribuição dos dispositivos na zona de estudo é extremamente relevante na melhoria do comportamento hidráulico dos sistemas de drenagem urbana.

Desta forma, permite-se concluir, com o trabalho realizado nesta dissertação, que a avaliação da capacidade dos dispositivos interceptores demonstrou ser de extrema importância na correta conceção de sistemas de drenagem pluvial, do ponto de vista da escolha e da sua implementação, e que a otimização destes sistemas poderá passar pela monitorização/ limpeza destes dispositivos, num contexto de manutenção das redes existentes.

No que toca a recomendações futuras, sugere-se, como seria de esperar pelos resultados obtidos, a realização de novas campanhas experimentais, onde se preveja a correção de determinados erros efetuados ou mesmo a deteção de outros problemas inerentes à realização das mesmas. Assim, sugere-se que a primeira campanha realizada neste documento seja interpretada como pré-campanha. Por outro lado, também se sugere que sejam realizadas campanhas abrangendo outros dispositivos que, pelas condicionantes existentes no *campus* Alameda do IST, impediu que se procedesse à realização das mesmas. Desta forma, poderá ser interessante, no futuro, proceder a campanhas experimentais em sumidouros duplos, sarjetas com e sem depressão ou em combinação de sumidouro e sarjeta, permitindo assim comparar os resultados obtidos nestas campanhas com os valores obtidos pela metodologia aprofundada nesta dissertação.

Outra recomendação prende-se com a temática da modelação dinâmica dos sistemas de drenagem pluvial. Os resultados obtidos, apesar de úteis em modelação 1D (recorrendo ao *software* SWMM), não permitem obter resultados concretos quando se aborda a temática da modelação 2D. Apesar de se poder prever que a inclusão da eficiência dos dispositivos tenha impacto na capacidade dos coletores, não se conseguem prever as implicações reais no que se refere ao escoamento superficial. Assim, a análise efetuada no capítulo 3, através da realização dos ábacos, poderá facilitar este trabalho em contexto de modelação 2D. Por outro lado, a metodologia utilizada na modelação 1D (introdução das eficiências dos dispositivos através da alteração dos hidrogramas das bacias), exemplificada no capítulo 5, poderá ser aplicada à modelação 2D, facilitando assim o processo de conceção da metodologia aplicada nesse mesmo estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allitt, R., J. Blanksby, S. Djordjevi, Č. Maksimović, and D. Stewart. 2009. "Investigations into 1D/1D and 1D/2D Urban Flood Modelling." in *Proc. of the WaPUG Autumn Conference*. Blackpool, UK.
- AMK Associates International Ltd. 2004. "Dual Drainage Storm Water Management Model." in *Program Documentation and Reference Manual*. Ontário, Canadá.
- Barreiro, João. 2017. "Contribuição Para a Avaliação de Resiliência Urbana a Eventos Extremos de Precipitação O Caso Das Bacias Da Avenida Da Liberdade e Almirante Reis, Em Lisboa." Instituto Superior Técnico.
- Barreiro, João, Ruth Lopes, Filipa Ferreira, and José Saldanha Matos. 2018. "Modelação 1D/2D de Zonas Urbanas Com Recurso Aos Modelos SWMM e BASEMENT: Aplicação à Zona Baixa de Lisboa." *18.º ENASB* 10–12.
- Beceiro, Paula. 2016. "Integrated Modelling 1D/2D and Performance Assessment to Support Floods Management. Application to Stormwater Urban Drainage Systems in Estuarine Areas."
- Brandão, Cláudia, Rui Rodrigues, and Joaquim Pinto da Costa. 2001. "Análise de Fenómenos Extremos Precipitações Intensas Em Portugal Continental." *Direcção Dos Serviços de Recursos Hídricos* 1–3.
- Brown, S. A., J. D. Schall, J. L. Morris, C. L. Doherty, S. M. Stein, and J. C. Warner. 2013. "Hydraulic Engineering Circular No. 22, Third Edition. Urban Drainage Design Manual." 2009(22):478.
- Burian, Steven J., Robert Pitt, Richard Field, S. Rocky Durrans, Stephan J. Nix, and Chi-Yuan Fan. 1999. "Historical Development of Wet-Weather Flow Management." *Water Resources Planning and Management* 125(1)(May 1999):3–13.
- Butler, David, and John W. Davies. 2004. *Urban Drainage*. 2nd Editio. Londres e Nova Iorque: Spon Press.
- Chow, Ven Te, David R. Maidment, and Larry W. Mays. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company.
- Clemens, François H. L. R. 2001. "Hydrodynamic Models in Urban Drainage: Application and Calibration." Delft University.
- Collischonn, B., W. Collischonn, and C. E. Tucci. 2008. "Daily Hydrological Modeling in the Amazon Basin Using TRMM Rainfall Estimates." *Journal of Hydrology* 360(1–4):2017–2016.
- Consultoria Júnior, Ideal. 2020. "SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA A DRENAGEM URBANA."
- Coutinho, Marlon Marques. 2015. "Avaliação Do Desempenho Da Modelagem Hidráulica Unidimensional e Bidimensional Na Simulação de Eventos de Inundação Em Colatina/ES." Universidade Federal de Minas Gerais.
- David, Luís Mesquita, and Pedro Sousa. n.d. "POÇOS DE INFILTRAÇÃO E BACIAS DE RETENÇÃO :



- Potenciais Benefícios Na Reabilitação e Expansão de Sistemas.” *13º Encontro Nacional de Saneamento Básico* (1):15.
- Debo, Thomas N., and Andrew Reese. 2002. *Municipal Stormwater Management*. Second Edi. edited by C. Press. Lewis Publishers.
- Djordjević, S., D. Prodanović, and Č. Maksimović. 1999. “An Approach to Simulation of Dual Drainage.” *Water Science and Technology* 39(9):95–103.
- Estellés, M. A. A. 2010. “Analysys of Rainfall Forecasting Techniques Used as Input for Urban Pluvial Flood Simulation and Prediction.” Imperial College, London.
- Girão, Luís Filipe de Oliveira. 2014. “Modelação Hidráulica e de Qualidade Da Água Dos Sistemas de Drenagem Em Meios Urbanos.” Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra.
- Gray, Harold Farnsworth. 1940. “Sewerage in Ancient and Mediaeval Times.” *Sewage Works Journal* 12(5):939–46.
- Guerreiro, Ana, António Monteiro, Filipa Ferreira, Frank Braunschweig, Joana Simões, João Guimarães, José Saldanha Matos, Mafalda Estudante, Manuel Pinheiro, Patrícia Ribeiro, Rodrigo Proença de Oliveira, Yohann Leboeuf, and Zélia Fernandes. 2015. *Plano Geral de Drenagem de Lisboa 2016-2030*. Vol. Versão 4.0. Lisboa.
- Guo, James C. Y., and Ken MacKenzie. 2012. *Hydraulic Efficiency of Grate and Curb-Opening Inlets under Clogging Effect*. Colorado.
- Hsiung Li, Wen, John C. Geyer, and George S. Benton. 1951. “Hydraulic Behavior of Storm-Water Inlets: I. Flow into Gutter Inlets in a Straight Gutter without Depression.” *Sewage and Industrial Wastes* 23(1):34–46.
- Hsiung Li, Wen, Knut K. Sorteberg, and John C. Geyer. 1951. “Hydraulic Behavior of Storm-Water Inlets: II. Flow into Curb-Opening Inlets.” *Sewage and Industrial Wastes* 23(6):722–38.
- IGPAI. 1973. “NP 676:1973: Redes de Esgoto; Sarjetas; Tipos, Características e Condições de Emprego.” 18.
- InLR. 2010. “Norma de Traçado, Revisão.” 114.
- Iowa Department of Transportation. 1995. “Using the Rational Method to Determine Peak Flow.” 1–10.
- Jang, Jiun Huei, Tien Hao Chang, and Wei Bo Chen. 2018. “The Effect of Inlet Modelling on Surface Drainage in Coupled Urban Flood Simulation.” *Journal of Hydrology* 562(May):168–80.
- Kirby, Richard Shelton, Sidney Withington, Arthur Burr Darling, and Frederick Gridley Kilgour. 1990. *Engineering in History*. Dover ed. Nova Iorque: Dover Publications.
- Leandro, Jorge, and Ricardo Martins. 2016. “A Methodology for Linking 2D Overland Flow Models with the Sewer Network Model SWMM 5.1 Based on Dynamic Link Libraries.” *Water Science and Technology* 73(12):3017–26.
- Leboeuf, Yohann David. 2015. “Sistemas de Drenagem de Águas Residuais Sob Vácuo.”

- Leitão, J. P., M. C. Almeida, N. E. Simões, and A. Martins. 2012. "Methodology for Qualitative Urban Flooding Risk Assessment." in *9th International Conference on Urban Drainage Modelling*. Belgrado.
- Leitão, J. P., J. S. Matos, and C. Maksimovic. 2008. "Modelos de Simulação Do escoamento Superficial Em Meio Urbano - Potencialidades e Limitações." *13º Encontro Nacional de Saneamento Básico*.
- Lima, José Geraldo de Araújo. 2007. "Investigações Experimentais Da Eficiência Hidráulica Em Bocas-de-Lobo Em Greide Contínuo." Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.
- Machado, Filipe Miguel Coelho. 2013. "Modelação Hidráulica de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável." Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Maksimović, Č., and D. Prodanović. 2001. *Modelling of Urban Flooding Breakthrough or Recycling of Outdated Concepts?. Urban Drainage Modeling, Proceedings of the Speciality*. Orlando, Florida.
- Mark, Ole, Sutat Weesakul, Chusit Apirumanekul, Surajate Boonya Aroonnet, and Slobodan Djordjević. 2004. "Potential and Limitations of 1D Modelling of Urban Flooding." *Journal of Hydrology* 299(3–4):284–99.
- Marques, A. Sá, J. P. d. Lima, J. Sousa, N. E. Simões, and R. Pina. 2013. *Hidrologia Urbana - Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais Urbanas*. Lisboa: ERSAR e Universidade de Coimbra.
- Martins, Wilson Antunes Xavier. 2016. "Drenagem Urbana: Centro Histórico de Leiria." Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Instituto Politécnico de Leiria.
- Matias, Elva Marlene Anastácio. 2016. "Avaliação Do Impacto Dos Órgãos de Entrada No Comportamento Dos Sistemas de Drenagem Urbanos."
- Matos, José de Saldanha. 2003. "Aspectos Históricos a Actuais Da Evolução Da Drenagem de Águas Residuais Em Meio Urbano." *Engenharia Civil-UM* 16:13–24.
- Matos, José Saldanha. 2006. *Ambiente e Saneamento - Sistemas de Drenagem Urbana*. Lisboa: IST Press.
- Matos, José Saldanha, Filipa Ferreira, António Monteiro, Rodrigo Oliveira, Natércia Matias, Rui Marques, and Pedro Póvoa. 2008. "Perspectiva Histórica e Evolução Do Saneamento de Águas Residuais Na Cidade de Lisboa." *SEREA 2008, VIII Seminário Ibero-Americano*.
- Matos, José Saldanha, Filipa Santos Ferreira, Ruth Lopes, and João Barreiro. 2018. *Reabilitação/Reforço/Substituição/Construção de Diversos Elementos Das Redes de Drenagem Das Bacia J (Avenida Da Liberdade) e Bacia L (Martim Moniz) e Reforço Da Drenagem Superficial Na Zona de Influência Dos Poços de Interseção Do Túnel Monsanto-Santa Ap*. Lisboa, Portugal.
- Matos, M. Rafaela. 1987. *Métodos de Análise e de Cálculo de Caudais Pluviais Em Sistemas de Drenagem Urbana. Estudo Referenciado Em Dados Experimentais de Bacias Urbanas Portuguesas*. Lisboa, Portugal.
- Metcalf, Leonard, and Harrison Prescott Eddy. 1928. *American Sewage Practice, Vol.I: Design of Sewers*. 2nd Editio. New York: McGraw-Hill.

- Ming, Hseng Tseng, and Chia R. Chu. 2000. "Two-Dimensional Shallow Water Flows Simulation Using TVD-MacCormack Scheme." *Journal of Hydraulic Research* 38(2):123–31.
- Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações. 1995. "Decreto Regulamentar n.º 23/95." *Diário Da República n.º 194/1995, Série I-B de 1995-08-23* 5284–5319. Retrieved May 8, 2020 (<https://dre.pt/pesquisa/-/search/431873/details/maximized>).
- Monte, B. E. O., D. D. Costa, M. B. Chaves, L. de Oliveira Magalhães, and C. B. Uvo. 2016. "Modelagem Hidrológica e Hidráulica Aplicada Ao Mapeamento de Áreas Inundáveis." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 21(1):152–67.
- Niazi, Mehran, Chris Nietch, Mahdi Maghrebi, Nicole Jackson, Brittany R. Bennett, Michael Tryby, and Arash Massoudieh. 2017. *Storm Water Management Model: Performance Review and Gap Analysis*. Vol. 3.
- Padrão, Vítor Manuel Borges do Rosário. 2016. "Redes de Drenagem de Águas Pluviais: A Integração e o Desenvolvimento de Órgãos Acessórios." Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Portela, Maria Manuela, and Guilherme Rodrigues Da Hora. 2002. "Aplicação Da Fórmula Racional À Análise De Cheias Em Portugal Continental: Valores Do Coeficiente C." *6º Congresso Da Água* 22.
- Quintela, António de Carvalho, and Maria Manuela Portela. n.d. "A Modelação Hidrológica Em Portugal Nos Últimos 25 Anos Do Século XX, Nas Perspetivas Determinísticas, Probabilísticas e Estocástica." 32.
- Randall, Mark, Nandana Perera, Neelam Gupta, and Muneef Ahmad. 2017. "Development and Calibration of a Dual Drainage Model for the Cooksville Creek Watershed, Canada." *Journal of Water Management Modeling*.
- Rebello, Júlio Miguel Loureiro. 2015. "Estudo e Dimensionamento de Um Canal Multi-Funções Par Escoamentos Em Superfície Livre." Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Rossman, L. A. 2015. "STORM WATER MANAGEMENT MODEL USER'S MANUAL Version 5.1." *National Risk Management Laboratory Office of Research and Development. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio*. 352.
- Santos, Margarida, and Joao Hipolito. 2005. "Análise Do Escoamento Em Rios Sujeitos à Influência Da Maré. Curva de Vazão." *7.º Simpósio De Hidráulica E Recursos Hídricos Dos Países De Língua Oficial Portuguesa*.
- Senior, Matthew, Ron Scheckenberger, and Brian Bishop. 2018. "Modeling Catchbasins and Inlets in SWMM." *Journal of Water Management Modeling* 2018:1–12.
- Shahed Behrouz, Mina, Zhenduo Zhu, L. Shawn Matott, and Alan J. Rabideau. 2019. "A New Tool for Automatic Calibration of the Storm Water Management Model (SWMM)." *Journal of Hydrology* 581:124436.
- SISAQUA, and CENOR. 2007. *Plano de Controlo de Caudais Pluviais No Subsistema de Beirolas*.

Lisboa, Portugal.

- Sousa, Eduardo Ribeiro de, and José Saldanha Matos. n.d. "Projecto de Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais." *IST* 36.
- Thomason, Camille. 2019a. "Gutter and Inlet Equations." in *Hydraulic Manual Design*. Texas Department of Transportation.
- Thomason, Camille. 2019b. "Storm Drain Inlets." in *Hydraulic Design Manual*.
- Tucci, Carlos E. M. 1998. *Modelos Hidrológicos*. 2nd ed. UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- UDFCD. 2016. "Urban Storm Drainage Criteria Manual: Volume 1 Management, Hydrology, and Hydraulics." P. 61 in Vol. 1.
- Vairinhos, João Luís Esteves. 2017. "Modelação Hidráulica de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável: Aplicação de Soluções de Controlo Na Origem a Um Caso de Estudo." Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Webster, Cedric. 1962. "The Sewers of Mohenjo-Daro." *Water Pollution Control Federation* 34(2):116–23.
- Wilken, Paulo Sampaio. 1978. *Engenharia de Drenagem Superficial*. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
- Yang, Yuhuan, Leifeng Sun, Ruonan Li, Jie Yin, and Dapeng Yu. 2020. "Linking a Storm Water Management Model to a Novel Two-Dimensional Model for Urban Pluvial Flood Modeling." *International Journal of Disaster Risk Science* 11(4):508–18.
- Yen, Ben Chie, and A. Osman Akan. 1999. "Hydraulic Design of Urban Drainage Systems." in *Hydraulic Design Handbook*. Nova Iorque: McGraw-Hill.
- Yen, Ben Chie, and Nicholas Pansic. 1980. *Surcharge of Sewer Systems*. Urbana. Illinois.

# ANEXOS

## ANEXO A – Catálogo de grelha sumidoura retangular modelo Anti-roubo (Fonte: Fucoli-Somepal S.A.)



**GRELHA SUMIDOURA**  
**GULLY GRATE**

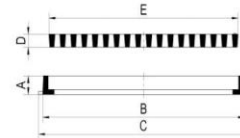
13.200

**Rectangular Modelo Anti-Roubo**  
Rectangle Anti-Pillage

**Material:** Ferro Fundido Dúctil  
EN-GJS-500  
**Material:** Ductile Iron  
EN-GJS-500

**EN 1563**

**Pintura preta de base aquosa.**  
Water based black painting.

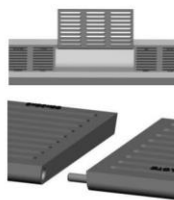


60x35x3,5 BERMA/AC

Código Code	Modelo Model	Classe Class	Conjunto Range			Área de escoamento Waterway area cm <sup>2</sup>	Peso Weight (Kg)
			A	B	C		
20303002	20x20x2,9	A 15	35	221x219	241x219	175	4,9
20303018	50x30x4 ALQUEVA	D 400	58	519x321	550x335	755	26.5
20303028	59x24x3	C 250	38	613x266	613x296	625	18.0
20303058	60X35X3,5 BERMA/AC	C 250	63	720x416	720x416	985	27.5
20303155	61,5x27x4	B 125	39	663x267	663x297	730	19.5
20303057	63,5X38,5X4 ALGARVE	C 250	56	687x421	687x421	980	33.7
20304099	64,5x34x4,5	C 250	43	650x350	700x350	960	30.1
20304090	65x25x3	C 250	30	640x256	663x282	530	17.6
20303053	65x35x3 MARL	C 250	38	674x375	721x443	790	35.4
20303051	65x35x3 MARL	D 400	38	674x375	721x443	720	43.1
20303162	65,5x35,5x4	C 250	55	716x398	716x398	870	34.8
20304101	67x21x4	B 125	38	664x208	711x234	570	16.9
20304111	67x36x4	B 125	38	668x360	713x360	1035	26.7
20304121	70x20x4	C 250	40	698x198	745x230	555	17.6

**Modelo Anti-Roubo com Sistema de Encaixe**  
Anti-Pillage Model with groove system

Código Code	Modelo Model	Classe Class	Grelha Grate		Área de escoamento Waterway area cm <sup>2</sup>	Peso Weight (Kg)
			D	E		
20306120	59x24x3	B125	30	590x240	-	10.8
20306097	65x27x3	C 250	30	650x270	620	20.4
20306094	65x35x3	C 250	30	650x350	800	28.0
20306073	65x35x3	D 400	30/40	650x350	-	36.0



**Sistema de encaixe** Groove system

Ed. nº 07 Rev03 – Abril 2019

Sendo um dos principais objectivos da nossa empresa o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos nossos produtos, reservamo-nos no direito de fornecer quaisquer outros que possam diferir ligeiramente dos descritos e ilustrados nesta publicação.

Being one of our aims a constant development of our products, the characteristics of described material may be altered without prior warning.

**ANEXO B – Valores das variáveis utilizadas para determinação das curvas de eficiência dos dispositivos de entrada**

**Anexo B.1 – Sumidouros**

Sumidouro sem depressão

$B_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,250
$L_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,650
$d_1$ [m]	0,050
Barras transversais	2
$h_{\text{depressão}}$ [m]	0,000

Sumidouro com depressão

$B_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,250
$L_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,650
$d_1$ [m]	0,050
Barras transversais	2
$h_{\text{depressão}}$ [m]	0,010

Sumidouro duplo sem depressão

SUMIDOURO 1  
(1º sumidouro a captar o escoamento)

$B_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,250
$L_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,650
$d_1$ [m]	0,050
Barras transversais	2
$h_{\text{depressão}}$ [m]	0,000

SUMIDOURO 2  
(2º sumidouro a captar o escoamento)

$B_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,200
$L_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,600
$d_1$ [m]	0,050
Barras transversais	3
$h_{\text{depressão}}$ [m]	0,000

Sumidouro duplo com depressão

SUMIDOURO 1  
(1º sumidouro a captar o escoamento)

$B_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,250
$L_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,650
$d_1$ [m]	0,050
Barras transversais	2
$h_{\text{depressão}}$ [m]	0,010

SUMIDOURO 2  
(2º sumidouro a  
captar o  
escoamento)

$B_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,200
$L_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,600
$d_1$ [m]	0,050
Barras transversais	3
$h_{\text{depressão}}$ [m]	0,010

## Anexo B.2 – Sarjetas

### Sarjeta sem depressão

$L_{\text{sarjeta}}$ [m]	0,600
--------------------------	-------

### Sarjeta com depressão do tipo 1

$L_{\text{sarjeta}}$ [m]	0,600
$B_1$ [m]	0,250
$a_1$ [m]	0,050
$a_2$ [m]	-
$b_{\text{com depressão}_2}$ [m]	-
$L_{1\_com\ depressão\_1}$ [m]	0,500
$L_{2\_com\ depressão\_2}$ [m]	-

### Sarjeta com depressão do tipo 2

$L_{\text{sarjeta}}$ [m]	0,600
$B_1$ [m]	0,250
$a_1$ [m]	-
$a_2$ [m]	0,050
$b_{\text{com depressão}_2}$ [m]	0,070
$L_{1\_com\ depressão\_1}$ [m]	-
$L_{2\_com\ depressão\_2}$ [m]	0,300

**Anexo B.3 – Combinação sumidouro e sarjeta**

Combinação sumidouro e sarjeta sem depressão

SUMIDOURO (1º dispositivo a captar o escoamento)	$B_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,250
	$L_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,650
	$d_1$ [m]	0,050
	Barras transversais	2
	$h_{\text{depressão}}$ [m]	0,000

SARJETA (2º dispositivo a captar o escoamento)	$L_{\text{sarjeta}}$ [m]	0,600
--	--------------------------	-------

Combinação sumidouro e sarjeta com depressão

SUMIDOURO (1º dispositivo a captar o escoamento)	$B_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,250
	$L_{\text{sumidouro}}$ [m]	0,650
	$d_1$ [m]	0,050
	Barras transversais	2
	$h_{\text{depressão}}$ [m]	0,000

SARJETA (2º dispositivo a captar o escoamento)	$L_{\text{sarjeta}}$ [m]	0,600
	$B_1$ [m]	0,250
	$a_1$ [m]	0,050
	$a_2$ [m]	-
	$b_{\text{com depressão}_2}$ [m]	-
	$L_{1\_com\ depressão\_1}$ [m]	0,500
	$L_{2\_com\ depressão\_2}$ [m]	-



ANEXO C – Exemplo de tabela de cálculo para sarjeta de lancil de passeio

Tipo de Sarjeta	Q <sub>0</sub>	ílong	ítransv	L <sub>sarjeta</sub>	n	B <sub>1</sub>	a	a'	b <sub>c/</sub> depr_2	L <sub>1,c/</sub> depr_1	L <sub>2,c/</sub> depr_2	L <sub>2,c/</sub> depr_1	K	y <sub>0</sub>	Θ <sub>0</sub>	Tange nte Θ <sub>0</sub>	Q <sub>s/</sub> depres são	V	F	M	C <sub>com</sub> depres são_1	V <sub>0</sub>	Q <sub>com</sub> depressã o_1	C <sub>c/depr</sub> _2	Tang Θ_CD _1	Tang Θ_CD _2	y <sub>com</sub> depres são	N	Q <sub>com</sub> depressão _2	Ef. Hidr.se m depr	Ef. Hidr.com depr
[-]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/m]	[m/m]	[m]	[m <sup>-1/3</sup> s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[°]	[rad]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[-]	[rad]	[rad]	[m]	[-]	[m <sup>3</sup> /s]		
COM DEPR_1	0,005	0,005	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,030	88,568	40,000		0,321	0,126	0,340	0,433	0,285	0,006		4,444		0,084				1,000
COM DEPR_1	0,005	0,010	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,026	88,568	40,000		0,327	0,132	0,356	0,432	0,369	0,005		4,444		0,083				0,997
COM DEPR_1	0,005	0,015	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,024	88,568	40,000		0,323	0,128	0,345	0,433	0,430	0,004		4,444		0,083				0,891
COM DEPR_1	0,005	0,020	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,023	88,568	40,000		0,315	0,120	0,325	0,434	0,479	0,004		4,444		0,084				0,823
COM DEPR_1	0,005	0,025	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,022	88,568	40,000		0,307	0,112	0,303	0,435	0,520	0,004		4,444		0,086				0,774
COM DEPR_1	0,005	0,030	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,021	88,568	40,000		0,298	0,104	0,281	0,436	0,557	0,004		4,444		0,087				0,737
COM DEPR_1	0,005	0,035	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,021	88,568	40,000		0,289	0,096	0,260	0,437	0,590	0,004		4,444		0,088				0,706
COM DEPR_1	0,005	0,040	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,020	88,568	40,000		0,280	0,089	0,241	0,438	0,621	0,003		4,444		0,090				0,681
COM DEPR_1	0,005	0,045	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,020	88,568	40,000		0,272	0,083	0,223	0,439	0,649	0,003		4,444		0,091				0,660
COM DEPR_1	0,005	0,050	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,019	88,568	40,000		0,263	0,077	0,207	0,440	0,675	0,003		4,444		0,092				0,642
COM DEPR_1	0,005	0,055	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,019	88,568	40,000		0,256	0,071	0,192	0,440	0,699	0,003		4,444		0,094				0,625
COM DEPR_1	0,005	0,060	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,019	88,568	40,000		0,248	0,066	0,179	0,441	0,722	0,003		4,444		0,095				0,611
COM DEPR_1	0,005	0,065	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,018	88,568	40,000		0,241	0,062	0,166	0,442	0,744	0,003		4,444		0,097				0,598
COM DEPR_1	0,005	0,070	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,018	88,568	40,000		0,235	0,057	0,155	0,442	0,765	0,003		4,444		0,098				0,586
COM DEPR_1	0,005	0,075	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,018	88,568	40,000		0,228	0,054	0,145	0,443	0,786	0,003		4,444		0,099				0,575
COM DEPR_1	0,005	0,080	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,018	88,568	40,000		0,222	0,050	0,135	0,443	0,805	0,003		4,444		0,101				0,565
COM DEPR_1	0,005	0,085	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,017	88,568	40,000		0,216	0,047	0,127	0,444	0,823	0,003		4,444		0,102				0,556
COM DEPR_1	0,005	0,090	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,017	88,568	40,000		0,211	0,044	0,119	0,444	0,841	0,003		4,444		0,103				0,548
COM DEPR_1	0,005	0,095	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,017	88,568	40,000		0,206	0,041	0,111	0,444	0,858	0,003		4,444		0,105				0,540
COM DEPR_1	0,005	0,100	0,025	0,600	0,015	0,250	0,050			0,500		0,200	0,200	0,017	88,568	40,000		0,201	0,039	0,105	0,445	0,875	0,003		4,444		0,106				0,532

**ANEXO D – Exemplo de tabela de iteração da altura de escoamento a montante de sarjeta com depressão**

$Q_0$	$a$	$y_0$	$V_0$	Tangente $\theta$	$y_{\text{com depressão}}$	FÓRMULA DA ESQUERDA	FÓRMULA DA DIREITA	ERRO
[m <sup>3</sup> /s]	[m]	[m]	[m/s]	[rad]	[m]			
0,005	0,050	0,030	0,285	4,444	0,084	0,084	0,084	0,000000
0,005	0,050	0,026	0,369	4,444	0,083	0,083	0,083	0,000000
0,005	0,050	0,024	0,430	4,444	0,083	0,084	0,084	0,000000
0,005	0,050	0,023	0,479	4,444	0,084	0,085	0,085	0,000000
0,005	0,050	0,022	0,520	4,444	0,086	0,086	0,086	0,000000
0,005	0,050	0,021	0,557	4,444	0,087	0,087	0,087	0,000000
0,005	0,050	0,021	0,590	4,444	0,088	0,088	0,088	0,000000
0,005	0,050	0,020	0,621	4,444	0,090	0,090	0,090	0,000000
0,005	0,050	0,020	0,649	4,444	0,091	0,091	0,091	0,000000
0,005	0,050	0,019	0,675	4,444	0,092	0,092	0,092	0,000000
0,005	0,050	0,019	0,699	4,444	0,094	0,094	0,094	0,000000
0,005	0,050	0,019	0,722	4,444	0,095	0,095	0,095	0,000000
0,005	0,050	0,018	0,744	4,444	0,097	0,097	0,097	0,000000
0,005	0,050	0,018	0,765	4,444	0,098	0,098	0,098	0,000000
0,005	0,050	0,018	0,786	4,444	0,099	0,099	0,099	0,000000
0,005	0,050	0,018	0,805	4,444	0,101	0,101	0,101	0,000000
0,005	0,050	0,017	0,823	4,444	0,102	0,102	0,102	0,000000
0,005	0,050	0,017	0,841	4,444	0,103	0,103	0,103	0,000000
0,005	0,050	0,017	0,858	4,444	0,105	0,105	0,105	0,000000
0,005	0,050	0,017	0,875	4,444	0,106	0,106	0,106	0,000000

ANEXO E – Exemplo de tabela de cálculo para sumidouro com e sem depressão

Tipo de Sumidouro	Q <sub>0</sub>	i <sub>longit</sub>	i <sub>transversal</sub>	B <sub>sum</sub>	d <sub>1</sub>	Labertura grades	Número de barras transv. na grade	h <sub>depres</sub>	n	m	B	θ <sub>0</sub>	y <sub>0</sub>	y <sub>com depressão</sub>	Tangente (θ)/ Tangente (θ <sub>0</sub> )	y'	A <sub>0</sub>	V <sub>0</sub>	L <sub>0</sub>	L'	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	Q <sub>captado</sub>	Eficiência
[-]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/m]	[m/m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[m <sup>-1/3</sup> s]	[-]	[m]	[°]	[m]	[m]	[rad]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m/s]	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,005	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0296	0,0296	40,0000	0,0221	0,0176	0,2845	0,1043	0,6492	0,0000	0,0000	0,0000	0,0050	0,998
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,010	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0260	0,0260	40,0000	0,0185	0,0136	0,3690	0,1268	0,7702	0,0000	0,0002	0,0000	0,0048	0,950
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,015	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0241	0,0241	40,0000	0,0166	0,0116	0,4296	0,1421	0,8493	0,0000	0,0003	0,0000	0,0046	0,930
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,020	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0229	0,0229	40,0000	0,0154	0,0104	0,4785	0,1541	0,9093	0,0000	0,0004	0,0000	0,0046	0,919
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,025	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0219	0,0219	40,0000	0,0144	0,0096	0,5203	0,1640	0,9580	0,0000	0,0004	0,0000	0,0046	0,912
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,030	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0212	0,0212	40,0000	0,0137	0,0090	0,5571	0,1727	0,9992	0,0000	0,0004	0,0000	0,0045	0,907
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,035	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0206	0,0206	40,0000	0,0131	0,0085	0,5903	0,1803	1,0351	0,0000	0,0005	0,0000	0,0045	0,904
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,040	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0201	0,0201	40,0000	0,0126	0,0081	0,6206	0,1872	1,0669	0,0000	0,0005	0,0000	0,0045	0,902
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,045	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0196	0,0196	40,0000	0,0121	0,0077	0,6486	0,1935	1,0954	0,0000	0,0005	0,0000	0,0045	0,900
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,050	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0192	0,0192	40,0000	0,0117	0,0074	0,6747	0,1994	1,1214	0,0000	0,0005	0,0000	0,0045	0,899
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,055	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0189	0,0189	40,0000	0,0114	0,0072	0,6993	0,2048	1,1452	0,0000	0,0005	0,0000	0,0045	0,898
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,060	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0186	0,0186	40,0000	0,0111	0,0069	0,7225	0,2098	1,1672	0,0000	0,0005	0,0000	0,0045	0,897
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,065	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0183	0,0183	40,0000	0,0108	0,0067	0,7445	0,2146	1,1877	0,0000	0,0005	0,0000	0,0045	0,897
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,070	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0181	0,0181	40,0000	0,0106	0,0065	0,7655	0,2191	1,2068	0,0000	0,0005	0,0000	0,0045	0,896
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,075	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0178	0,0178	40,0000	0,0103	0,0064	0,7855	0,2234	1,2248	0,0000	0,0005	0,0000	0,0045	0,896
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,080	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0176	0,0176	40,0000	0,0101	0,0062	0,8048	0,2275	1,2417	0,0000	0,0005	0,0000	0,0045	0,896
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,085	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0174	0,0174	40,0000	0,0099	0,0061	0,8233	0,2314	1,2577	0,0001	0,0005	0,0000	0,0045	0,896
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,090	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0172	0,0172	40,0000	0,0097	0,0059	0,8411	0,2352	1,2728	0,0001	0,0005	0,0000	0,0045	0,896
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,095	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0171	0,0171	40,0000	0,0096	0,0058	0,8584	0,2388	1,2873	0,0001	0,0005	0,0000	0,0045	0,896
SEM DEPRESSÃO	0,005	0,100	0,025	0,250	0,050	0,650	2	0,000	0,015	6,667	0,300	88,5679	0,0169	0,0169	40,0000	0,0094	0,0057	0,8750	0,2423	1,3010	0,0001	0,0005	0,0000	0,0045	0,896

**ANEXO F – Valores da média da eficiência dos dispositivos de entrada em intervalos de 15 minutos para o caso T = 2 anos**

Horas	Média das eficiências dos dispositivos																	
	57 EST	57 EE	57 DE	58 EST	58 EE	58 DE	59 EST	59 EE	59 DE	60 EST	60 EE	60 DE	61 EST	61 EE	61 DE	64 EST	64 EE	64 DE
00:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00:30	99,24 %	0,00 %	0,00 %	97,63 %	0,00 %	93,68 %	91,88 %	80,94 %	0,00 %	82,10 %	94,04 %	0,00 %	97,52 %	98,61 %	0,00 %	78,31 %	98,47 %	0,00 %
00:45	81,50 %	0,00 %	0,00 %	98,37 %	0,00 %	83,20 %	89,96 %	56,27 %	0,00 %	83,22 %	85,57 %	0,00 %	98,22 %	93,14 %	0,00 %	72,08 %	95,32 %	0,00 %
01:00	69,14 %	0,00 %	0,00 %	98,65 %	0,00 %	79,06 %	84,42 %	47,64 %	0,00 %	82,79 %	81,24 %	0,00 %	95,18 %	88,94 %	0,00 %	63,12 %	85,53 %	0,00 %
01:15	63,86 %	0,00 %	0,00 %	96,50 %	0,00 %	59,74 %	85,59 %	42,24 %	0,00 %	79,83 %	75,78 %	0,00 %	90,29 %	80,30 %	0,00 %	58,95 %	79,38 %	0,00 %
01:30	63,86 %	0,00 %	0,00 %	89,07 %	0,00 %	56,39 %	85,26 %	38,93 %	0,00 %	77,18 %	72,10 %	0,00 %	86,97 %	74,48 %	0,00 %	56,62 %	75,43 %	0,00 %
01:45	59,48 %	0,00 %	0,00 %	71,49 %	0,00 %	49,58 %	80,45 %	31,66 %	0,00 %	69,84 %	63,27 %	0,00 %	75,85 %	64,72 %	0,00 %	49,34 %	68,01 %	0,00 %
02:00	47,14 %	0,00 %	0,00 %	68,77 %	0,00 %	47,20 %	78,85 %	29,96 %	0,00 %	67,78 %	61,01 %	0,00 %	74,70 %	60,72 %	0,00 %	44,81 %	65,28 %	0,00 %
02:15	45,69 %	0,00 %	0,00 %	68,84 %	0,00 %	46,67 %	78,59 %	29,70 %	0,00 %	67,45 %	60,64 %	0,00 %	74,62 %	59,58 %	0,00 %	43,67 %	64,61 %	0,00 %
02:30	45,57 %	0,00 %	0,00 %	68,79 %	0,00 %	46,51 %	78,54 %	29,64 %	0,00 %	67,37 %	60,56 %	0,00 %	74,62 %	59,18 %	0,00 %	43,30 %	64,40 %	0,00 %
02:45	45,56 %	0,00 %	0,00 %	83,42 %	0,00 %	50,71 %	83,11 %	34,97 %	0,00 %	73,32 %	67,28 %	0,00 %	85,84 %	63,82 %	0,00 %	49,82 %	68,58 %	0,00 %
03:00	57,75 %	0,00 %	0,00 %	96,59 %	0,00 %	55,23 %	84,89 %	40,19 %	0,00 %	78,12 %	73,37 %	0,00 %	92,29 %	69,60 %	0,00 %	55,34 %	73,35 %	0,00 %
03:15	64,71 %	0,00 %	0,00 %	98,69 %	0,00 %	58,43 %	84,19 %	43,84 %	0,00 %	80,83 %	77,30 %	0,00 %	95,66 %	74,14 %	0,00 %	57,25 %	76,89 %	0,00 %
03:30	69,79 %	0,00 %	0,00 %	98,57 %	0,00 %	61,38 %	84,61 %	47,60 %	0,00 %	82,35 %	81,01 %	0,00 %	98,34 %	78,47 %	0,00 %	59,21 %	80,22 %	0,00 %
03:45	76,04 %	0,00 %	0,00 %	98,39 %	0,00 %	64,67 %	87,25 %	51,78 %	0,00 %	83,53 %	83,91 %	0,00 %	98,12 %	83,31 %	0,00 %	61,63 %	83,98 %	0,00 %
04:00	85,53 %	0,00 %	0,00 %	98,10 %	0,00 %	67,03 %	91,65 %	58,00 %	0,00 %	83,14 %	86,03 %	0,00 %	97,72 %	88,91 %	0,00 %	65,13 %	88,78 %	0,00 %
04:15	99,32 %	0,00 %	0,00 %	97,57 %	0,00 %	69,61 %	93,22 %	68,91 %	0,00 %	83,18 %	85,79 %	0,00 %	96,95 %	92,14 %	0,00 %	70,44 %	92,05 %	0,00 %
04:30	99,10 %	0,00 %	0,00 %	97,01 %	0,00 %	72,41 %	91,54 %	81,19 %	0,00 %	82,71 %	88,79 %	0,00 %	96,08 %	93,03 %	0,00 %	74,57 %	92,05 %	0,00 %
04:45	98,85 %	0,00 %	0,00 %	96,36 %	0,00 %	75,39 %	89,66 %	94,85 %	0,00 %	82,29 %	92,12 %	0,00 %	94,95 %	93,97 %	0,00 %	77,43 %	96,93 %	0,00 %
05:00	98,59 %	0,00 %	0,00 %	95,75 %	0,00 %	78,64 %	87,61 %	99,85 %	0,00 %	81,93 %	95,91 %	0,00 %	94,48 %	94,96 %	0,00 %	78,35 %	98,86 %	0,00 %
05:15	98,33 %	0,00 %	0,00 %	95,11 %	0,00 %	81,42 %	84,95 %	99,83 %	0,00 %	81,95 %	98,80 %	0,00 %	93,73 %	96,01 %	0,00 %	78,32 %	98,73 %	0,00 %
05:30	98,14 %	0,00 %	0,00 %	94,56 %	0,00 %	83,02 %	82,92 %	99,81 %	0,00 %	83,40 %	99,45 %	0,00 %	92,22 %	97,13 %	0,00 %	78,30 %	98,59 %	0,00 %
05:45	-	0,00 %	0,00 %	94,17 %	0,00 %	84,76 %	82,15 %	99,79 %	0,00 %	84,40 %	99,39 %	0,00 %	-	98,34 %	0,00 %	78,27 %	98,45 %	0,00 %
06:00	-	-	0,00 %	93,62 %	0,00 %	85,14 %	81,03 %	99,78 %	0,00 %	84,15 %	99,35 %	-	-	99,21 %	-	78,24 %	98,29 %	0,00 %
06:15	-	-	0,00 %	-	0,00 %	85,08 %	80,21 %	99,76 %	0,00 %	83,91 %	99,30 %	-	-	99,14 %	-	78,22 %	98,13 %	0,00 %
06:30	-	-	0,00 %	-	0,00 %	85,04 %	79,08 %	99,74 %	0,00 %	83,68 %	99,25 %	-	-	99,08 %	-	78,19 %	97,96 %	0,00 %
06:45	-	-	0,00 %	-	0,00 %	85,00 %	-	-	-	-	-	-	-	99,00 %	-	78,16 %	97,79 %	0,00 %
07:00	-	-	0,00 %	-	-	84,96 %	-	-	-	-	-	-	-	98,93 %	-	78,14 %	97,64 %	0,00 %
07:15	-	-	0,00 %	-	-	84,93 %	-	-	-	-	-	-	-	98,87 %	-	78,11 %	97,52 %	0,00 %
07:30	-	-	0,00 %	-	-	84,89 %	-	-	-	-	-	-	-	98,82 %	-	78,09 %	97,40 %	0,00 %
07:45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,77 %	-	78,07 %	97,28 %	0,00 %
08:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,72 %	-	78,05 %	-	-
08:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,67 %	-	-	-	-
08:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,62 %	-	-	-	-

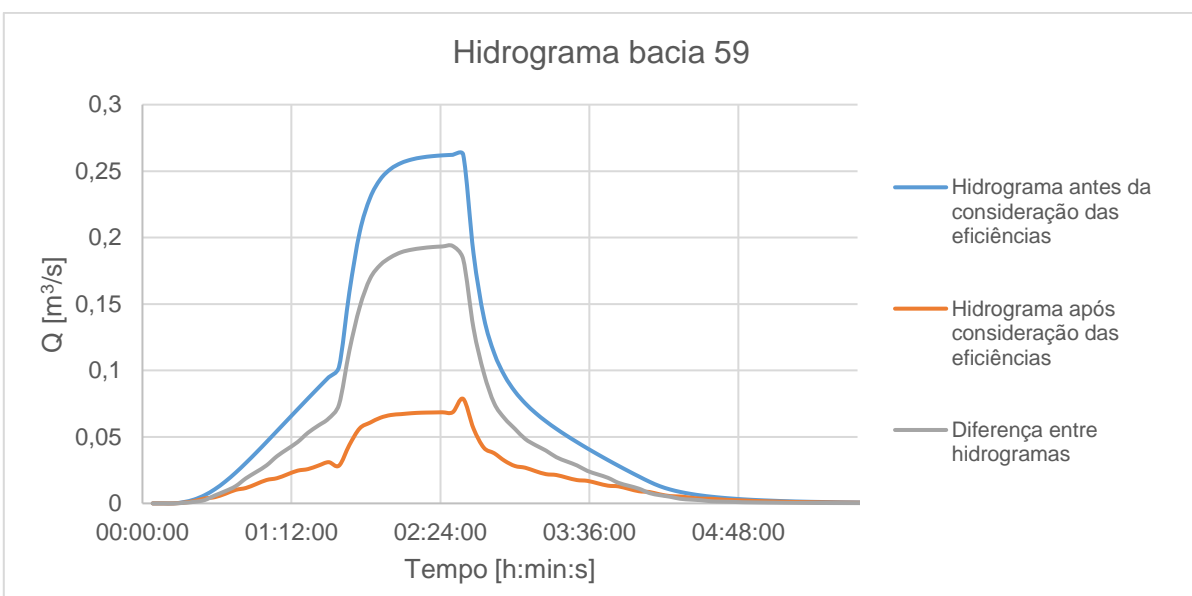
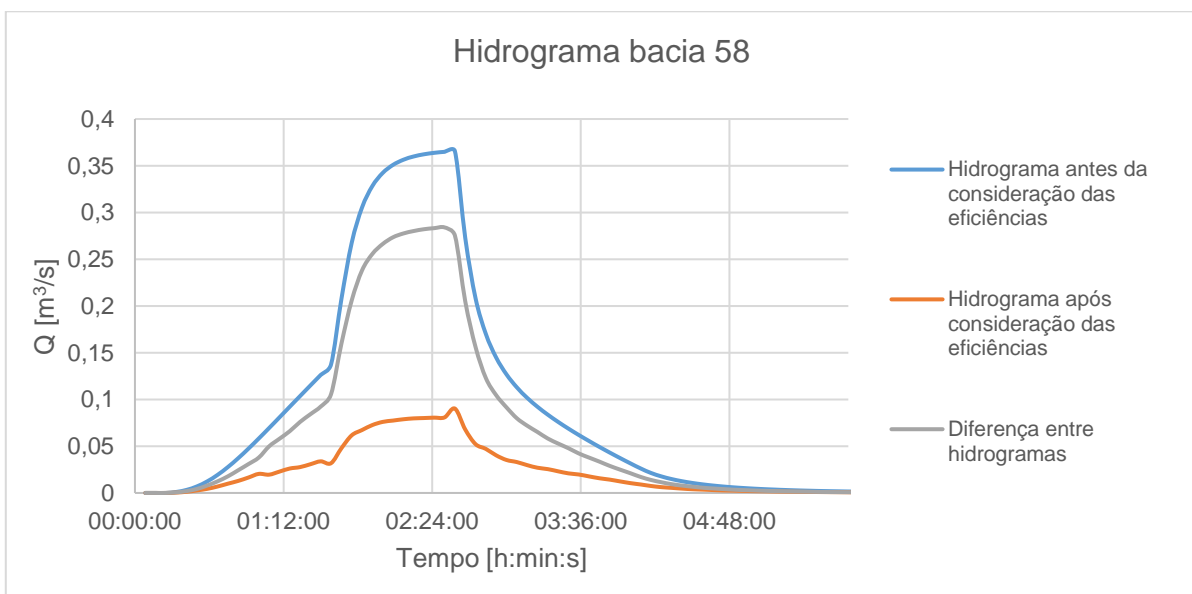
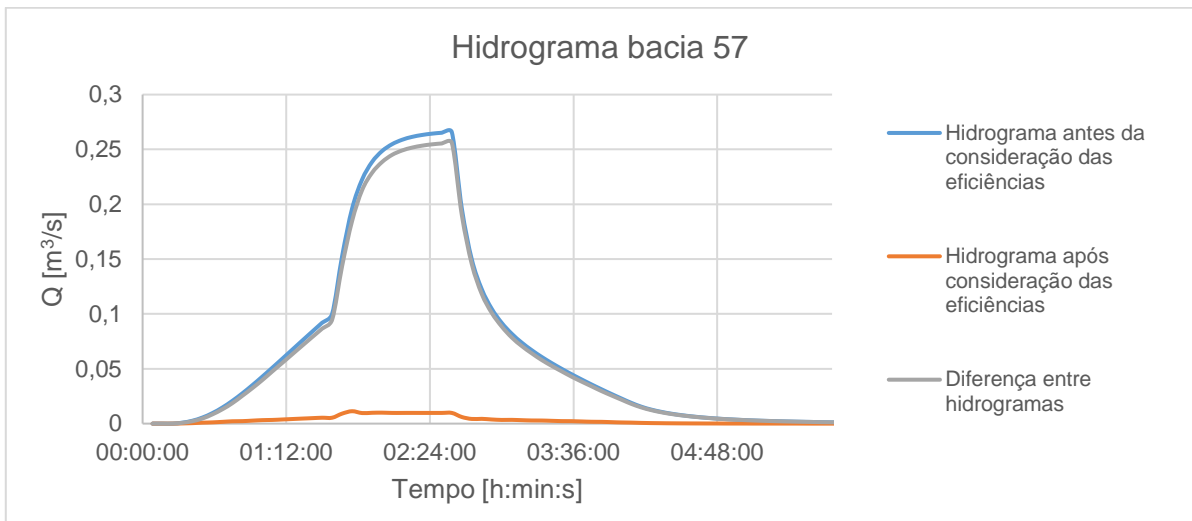
**ANEXO G – Valores da média da eficiência dos dispositivos de entrada em intervalos de 15 minutos para o caso T = 10 anos**

Horas	Média das eficiências dos dispositivos																	
	57 EST	57 EE	57 DE	58 EST	58 EE	58 DE	59 EST	59 EE	59 DE	60 EST	60 EE	60 DE	61 EST	61 EE	61 DE	64 EST	64 EE	64 DE
00:15	98,46 %	0,00 %	-	95,11 %	0,00 %	-	81,03 %	99,77 %	0,00 %	79,86 %	99,16 %	0,00 %	94,95 %	-	-	-	-	-
00:30	87,68 %	0,00 %	0,00 %	98,20 %	0,00 %	85,97 %	93,74 %	62,15 %	0,00 %	83,40 %	87,60 %	0,00 %	98,10 %	94,65 %	0,00 %	76,27 %	98,87 %	0,00 %
00:45	65,83 %	0,00 %	0,00 %	98,72 %	0,00 %	78,42 %	83,60 %	46,12 %	0,00 %	82,10 %	79,82 %	0,00 %	92,79 %	88,70 %	0,00 %	62,74 %	84,95 %	0,00 %
01:00	57,84 %	0,00 %	0,00 %	90,08 %	0,00 %	71,23 %	80,16 %	38,88 %	0,00 %	82,53 %	72,09 %	0,00 %	85,96 %	76,22 %	0,00 %	57,17 %	76,31 %	0,00 %
01:15	53,34 %	0,00 %	0,00 %	82,01 %	0,00 %	52,83 %	81,98 %	35,11 %	0,00 %	82,81 %	67,59 %	0,00 %	81,37 %	68,81 %	0,00 %	54,53 %	71,51 %	0,00 %
01:30	53,34 %	0,00 %	0,00 %	76,69 %	0,00 %	50,17 %	81,41 %	32,73 %	0,00 %	83,01 %	64,62 %	0,00 %	78,35 %	64,17 %	0,00 %	50,04 %	68,50 %	0,00 %
01:45	49,96 %	0,00 %	0,00 %	63,13 %	0,00 %	44,75 %	75,69 %	27,37 %	0,00 %	83,49 %	57,52 %	0,00 %	70,47 %	55,61 %	0,00 %	40,93 %	62,76 %	0,00 %
02:00	40,59 %	0,00 %	0,00 %	61,48 %	0,00 %	43,22 %	74,39 %	26,40 %	0,00 %	83,43 %	56,13 %	0,00 %	69,92 %	53,63 %	0,00 %	37,92 %	61,00 %	0,00 %
02:15	39,83 %	0,00 %	0,00 %	61,35 %	0,00 %	42,94 %	74,23 %	26,29 %	0,00 %	83,42 %	55,96 %	0,00 %	69,89 %	52,95 %	0,00 %	37,29 %	60,65 %	0,00 %
02:30	39,78 %	0,00 %	0,00 %	61,34 %	0,00 %	42,87 %	74,21 %	26,27 %	0,00 %	83,42 %	55,93 %	0,00 %	69,89 %	52,75 %	0,00 %	37,11 %	60,56 %	0,00 %
02:45	39,78 %	0,00 %	0,00 %	75,62 %	0,00 %	46,97 %	80,13 %	31,10 %	0,00 %	83,02 %	62,41 %	0,00 %	79,27 %	56,58 %	0,00 %	43,02 %	64,59 %	0,00 %
03:00	50,70 %	0,00 %	0,00 %	85,12 %	0,00 %	50,98 %	82,18 %	35,22 %	0,00 %	82,66 %	67,61 %	0,00 %	84,79 %	62,14 %	0,00 %	49,95 %	68,80 %	0,00 %
03:15	56,52 %	0,00 %	0,00 %	89,87 %	0,00 %	53,76 %	81,12 %	38,05 %	0,00 %	82,43 %	70,99 %	0,00 %	88,38 %	66,37 %	0,00 %	54,40 %	71,82 %	0,00 %
03:30	60,27 %	0,00 %	0,00 %	98,13 %	0,00 %	56,50 %	81,39 %	41,21 %	0,00 %	81,37 %	74,53 %	0,00 %	92,67 %	70,44 %	0,00 %	56,14 %	74,83 %	0,00 %
03:45	65,17 %	0,00 %	0,00 %	98,63 %	0,00 %	59,85 %	83,58 %	45,59 %	0,00 %	81,88 %	79,06 %	0,00 %	97,21 %	75,20 %	0,00 %	58,17 %	78,49 %	0,00 %
04:00	72,91 %	0,00 %	0,00 %	98,36 %	0,00 %	64,44 %	87,47 %	52,01 %	0,00 %	82,80 %	84,00 %	0,00 %	98,05 %	81,45 %	0,00 %	61,33 %	83,59 %	0,00 %
04:15	88,36 %	0,00 %	0,00 %	97,83 %	0,00 %	67,77 %	94,13 %	62,33 %	0,00 %	83,75 %	84,17 %	0,00 %	97,28 %	89,89 %	0,00 %	66,42 %	90,43 %	0,00 %
04:30	99,20 %	0,00 %	0,00 %	97,28 %	0,00 %	70,45 %	92,51 %	73,91 %	0,00 %	83,87 %	87,00 %	0,00 %	96,51 %	92,32 %	0,00 %	71,88 %	96,00 %	0,00 %
04:45	98,96 %	0,00 %	0,00 %	96,71 %	0,00 %	73,28 %	90,77 %	86,55 %	0,00 %	83,04 %	90,09 %	0,00 %	95,56 %	93,21 %	0,00 %	75,33 %	98,88 %	0,00 %
05:00	98,68 %	0,00 %	0,00 %	96,06 %	0,00 %	76,32 %	88,79 %	99,87 %	0,00 %	82,19 %	93,55 %	0,00 %	94,48 %	94,15 %	0,00 %	77,93 %	98,74 %	0,00 %
05:15	98,40 %	0,00 %	0,00 %	95,31 %	0,00 %	79,59 %	86,50 %	99,85 %	0,00 %	80,90 %	97,53 %	0,00 %	93,73 %	95,14 %	0,00 %	78,34 %	98,60 %	0,00 %
05:30	98,14 %	0,00 %	0,00 %	94,87 %	0,00 %	81,85 %	83,88 %	99,82 %	0,00 %	80,28 %	99,49 %	0,00 %	92,22 %	96,19 %	0,00 %	78,32 %	98,45 %	0,00 %
05:45	-	0,00 %	0,00 %	94,17 %	0,00 %	83,48 %	82,57 %	99,80 %	0,00 %	79,30 %	99,42 %	0,00 %	-	97,33 %	0,00 %	78,29 %	98,30 %	0,00 %
06:00	-	-	0,00 %	93,62 %	0,00 %	85,18 %	81,65 %	99,78 %	0,00 %	-	99,37 %	0,00 %	-	98,56 %	0,00 %	78,27 %	98,13 %	0,00 %
06:15	-	-	0,00 %	-	0,00 %	85,12 %	81,03 %	99,77 %	0,00 %	-	99,33 %	-	-	99,20 %	0,00 %	78,24 %	97,95 %	0,00 %
06:30	-	-	0,00 %	-	0,00 %	85,07 %	80,21 %	99,75 %	0,00 %	-	99,28 %	-	-	99,13 %	0,00 %	78,21 %	97,76 %	0,00 %
06:45	-	-	0,00 %	-	0,00 %	85,03 %	-	99,74 %	-	-	99,23 %	-	-	99,06 %	0,00 %	78,18 %	97,57 %	0,00 %
07:00	-	-	0,00 %	-	0,00 %	84,99 %	-	-	-	-	-	-	-	98,99 %	0,00 %	78,15 %	97,42 %	0,00 %
07:15	-	-	0,00 %	-	-	84,96 %	-	-	-	-	-	-	-	98,92 %	0,00 %	78,13 %	97,29 %	0,00 %
07:30	-	-	0,00 %	-	-	84,91 %	-	-	-	-	-	-	-	98,85 %	0,00 %	78,10 %	97,16 %	0,00 %
07:45	-	-	-	-	-	84,88 %	-	-	-	-	-	-	-	98,80 %	0,00 %	78,09 %	97,04 %	0,00 %
08:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,76 %	0,00 %	78,07 %	96,92 %	0,00 %
08:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,71 %	-	78,05 %	-	-
08:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,66 %	-	-	-	-
08:45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,59 %	-	-	-	-

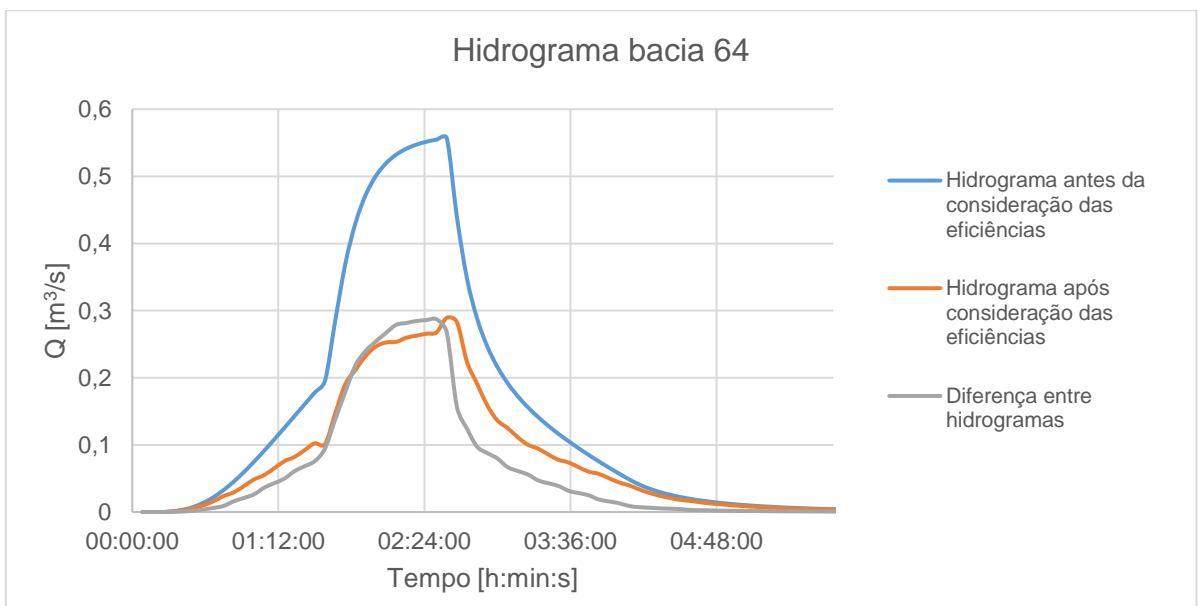
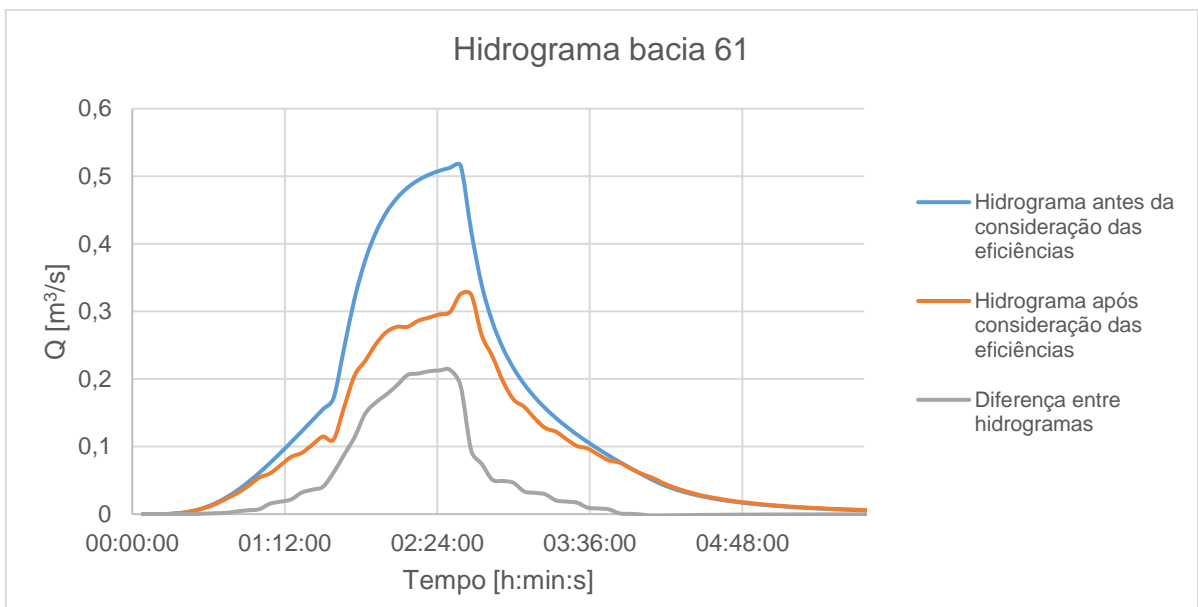
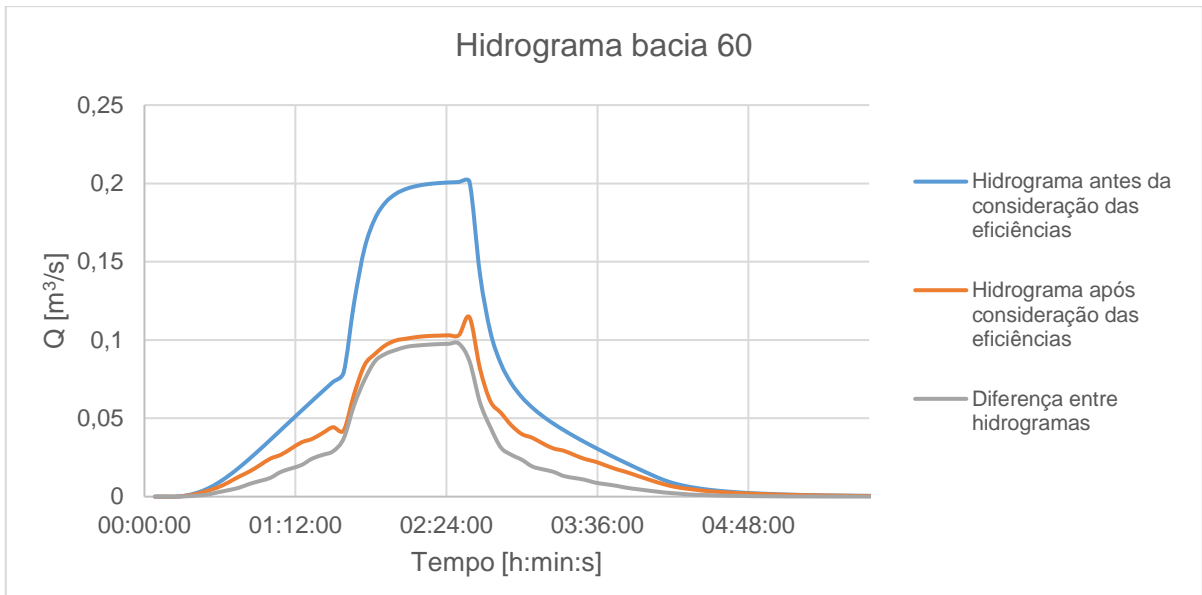
**ANEXO H – Valores da média da eficiência dos dispositivos de entrada em intervalos de 15 minutos para o caso T = 10 anos otimizado**

Horas	Média das eficiências dos dispositivos																	
	57 EST	57 EE	57 DE	58 EST	58 EE	58 DE	59 EST	59 EE	59 DE	60 EST	60 EE	60 DE	61 EST	61 EE	61 DE	64 EST	64 EE	64 DE
00:15	98,11 %	99,69 %	-	91,95 %	99,84 %	-	88,27 %	99,52 %	99,83 %	74,73 %	88,91 %	99,62 %	86,05 %	-	-	-	-	-
00:30	99,35 %	99,94 %	99,96 %	95,66 %	99,86 %	99,68 %	96,06 %	99,88 %	99,89 %	79,57 %	89,45 %	99,93 %	89,66 %	82,02 %	99,74 %	78,29 %	98,87 %	99,95 %
00:45	99,53 %	99,92 %	99,82 %	96,23 %	98,66 %	98,73 %	97,30 %	99,88 %	99,68 %	82,35 %	86,99 %	99,96 %	86,79 %	79,65 %	99,87 %	78,40 %	84,95 %	99,86 %
01:00	99,60 %	99,86 %	98,02 %	96,67 %	95,06 %	93,72 %	97,76 %	99,08 %	96,84 %	84,23 %	81,05 %	99,89 %	90,41 %	72,15 %	99,91 %	78,44 %	76,31 %	99,82 %
01:15	99,37 %	99,83 %	95,58 %	96,93 %	92,48 %	90,61 %	98,01 %	96,95 %	94,53 %	85,27 %	77,43 %	99,85 %	90,53 %	67,60 %	99,93 %	78,46 %	71,51 %	98,84 %
01:30	98,72 %	99,82 %	93,69 %	97,10 %	90,62 %	88,55 %	98,16 %	95,69 %	92,80 %	85,95 %	74,99 %	99,84 %	90,61 %	64,69 %	99,94 %	78,32 %	68,50 %	97,33 %
01:45	96,48 %	97,99 %	89,11 %	97,25 %	85,27 %	83,05 %	98,37 %	94,79 %	88,03 %	87,64 %	69,04 %	99,38 %	90,83 %	59,52 %	99,96 %	76,60 %	62,76 %	93,19 %
02:00	96,27 %	97,52 %	87,71 %	97,21 %	82,21 %	81,27 %	97,82 %	90,28 %	87,06 %	87,69 %	67,86 %	98,99 %	90,85 %	57,64 %	99,96 %	75,93 %	61,00 %	91,66 %
02:15	96,26 %	97,49 %	87,46 %	97,21 %	81,71 %	80,94 %	97,75 %	89,22 %	86,94 %	87,70 %	67,71 %	98,96 %	90,85 %	57,19 %	99,95 %	75,79 %	60,65 %	91,35 %
02:30	96,26 %	97,49 %	87,40 %	97,21 %	81,60 %	80,86 %	97,74 %	89,09 %	86,91 %	87,70 %	67,69 %	98,95 %	90,85 %	57,05 %	99,95 %	75,75 %	60,56 %	91,27 %
02:45	98,87 %	99,82 %	91,20 %	97,13 %	88,91 %	85,48 %	98,76 %	89,06 %	91,52 %	85,98 %	73,16 %	99,84 %	90,59 %	60,29 %	99,95 %	77,16 %	64,59 %	94,80 %
03:00	99,93 %	99,84 %	94,40 %	96,83 %	92,16 %	89,18 %	98,46 %	93,65 %	94,65 %	84,72 %	77,44 %	99,87 %	90,44 %	63,90 %	99,94 %	78,34 %	68,80 %	97,61 %
03:15	99,58 %	99,86 %	96,30 %	96,61 %	94,11 %	91,32 %	97,80 %	95,73 %	96,42 %	83,85 %	80,17 %	99,90 %	90,34 %	66,56 %	99,93 %	78,46 %	71,82 %	99,07 %
03:30	99,54 %	99,90 %	97,91 %	96,32 %	95,95 %	93,38 %	97,59 %	96,68 %	98,02 %	82,79 %	82,97 %	99,94 %	90,20 %	69,12 %	99,92 %	78,45 %	74,83 %	99,82 %
03:45	99,47 %	99,96 %	99,42 %	96,13 %	97,95 %	95,80 %	97,30 %	97,67 %	99,58 %	81,22 %	86,43 %	99,96 %	90,00 %	72,08 %	99,90 %	78,44 %	78,49 %	99,83 %
04:00	99,35 %	99,95 %	99,83 %	95,83 %	99,82 %	98,92 %	96,81 %	98,93 %	99,83 %	79,71 %	89,50 %	99,94 %	89,61 %	75,92 %	99,87 %	78,41 %	83,59 %	99,86 %
04:15	99,08 %	99,92 %	99,86 %	95,24 %	99,85 %	99,75 %	95,95 %	99,91 %	99,94 %	78,80 %	89,46 %	99,90 %	88,76 %	80,64 %	99,83 %	78,38 %	90,43 %	99,92 %
04:30	98,78 %	99,87 %	99,93 %	94,60 %	99,91 %	99,70 %	95,05 %	99,88 %	99,91 %	77,86 %	89,40 %	99,86 %	87,88 %	82,15 %	99,78 %	78,34 %	96,00 %	99,96 %
04:45	98,42 %	99,82 %	99,96 %	93,92 %	99,96 %	99,65 %	94,14 %	99,84 %	99,89 %	77,86 %	89,33 %	99,80 %	86,76 %	82,10 %	99,72 %	78,30 %	98,88 %	99,95 %
05:00	98,02 %	99,76 %	99,95 %	93,13 %	99,95 %	99,61 %	93,15 %	99,81 %	99,85 %	76,83 %	89,27 %	99,74 %	85,48 %	82,04 %	99,67 %	78,26 %	98,74 %	99,93 %
05:15	97,67 %	99,68 %	99,93 %	92,21 %	99,93 %	99,55 %	92,07 %	99,77 %	99,81 %	75,78 %	89,20 %	99,66 %	84,57 %	81,99 %	99,60 %	78,22 %	98,60 %	99,92 %
05:30	97,47 %	99,62 %	99,92 %	91,65 %	99,92 %	99,50 %	90,88 %	99,72 %	99,77 %	74,18 %	89,12 %	99,57 %	82,68 %	81,94 %	99,50 %	78,17 %	98,45 %	99,91 %
05:45	-	99,54 %	99,91 %	90,77 %	99,90 %	99,44 %	89,91 %	99,66 %	99,72 %	73,41 %	89,04 %	99,50 %	-	81,88 %	99,45 %	78,12 %	98,30 %	99,89 %
06:00	-	-	99,91 %	90,05 %	99,88 %	99,38 %	88,93 %	99,60 %	99,68 %	-	88,97 %	99,45 %	-	81,82 %	99,28 %	78,07 %	98,13 %	99,87 %
06:15	-	-	99,91 %	-	99,87 %	99,31 %	88,27 %	99,56 %	99,63 %	-	88,91 %	-	-	81,76 %	99,28 %	78,01 %	97,95 %	99,85 %
06:30	-	-	99,91 %	-	99,85 %	99,24 %	87,39 %	99,51 %	99,58 %	-	88,86 %	-	-	81,70 %	99,11 %	77,94 %	97,76 %	99,82 %
06:45	-	-	99,91 %	-	99,83 %	99,19 %	-	99,46 %	-	-	88,80 %	-	-	81,63 %	99,11 %	77,87 %	97,57 %	99,80 %
07:00	-	-	99,91 %	-	99,82 %	99,13 %	-	-	-	-	-	-	-	81,55 %	98,72 %	77,81 %	97,42 %	99,78 %
07:15	-	-	99,91 %	-	-	99,09 %	-	-	-	-	-	-	-	81,48 %	98,72 %	77,76 %	97,29 %	99,76 %
07:30	-	-	99,91 %	-	-	99,03 %	-	-	-	-	-	-	-	81,42 %	98,72 %	77,69 %	97,16 %	99,74 %
07:45	-	-	-	-	-	98,98 %	-	-	-	-	-	-	-	81,37 %	98,72 %	77,67 %	97,04 %	99,71 %
08:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81,32 %	98,72 %	77,60 %	96,92 %	99,69 %
08:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81,27 %	-	77,56 %	-	-
08:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81,22 %	-	-	-	-
08:45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81,17 %	-	-	-	-

## ANEXO I – Hidrogramas de cheia para o caso de estudo de T = 2 anos

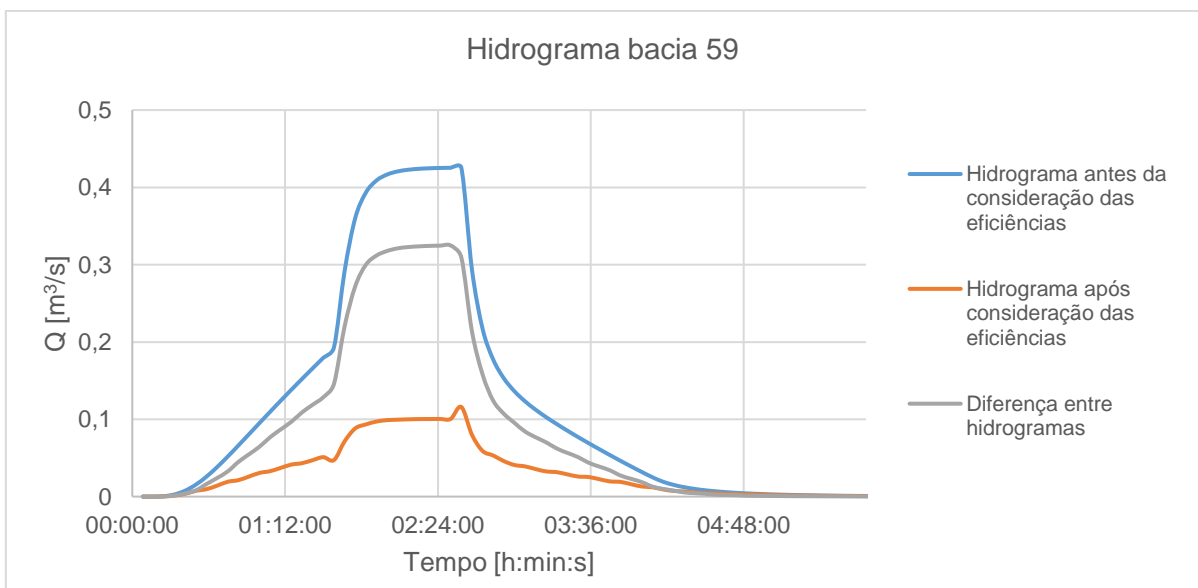
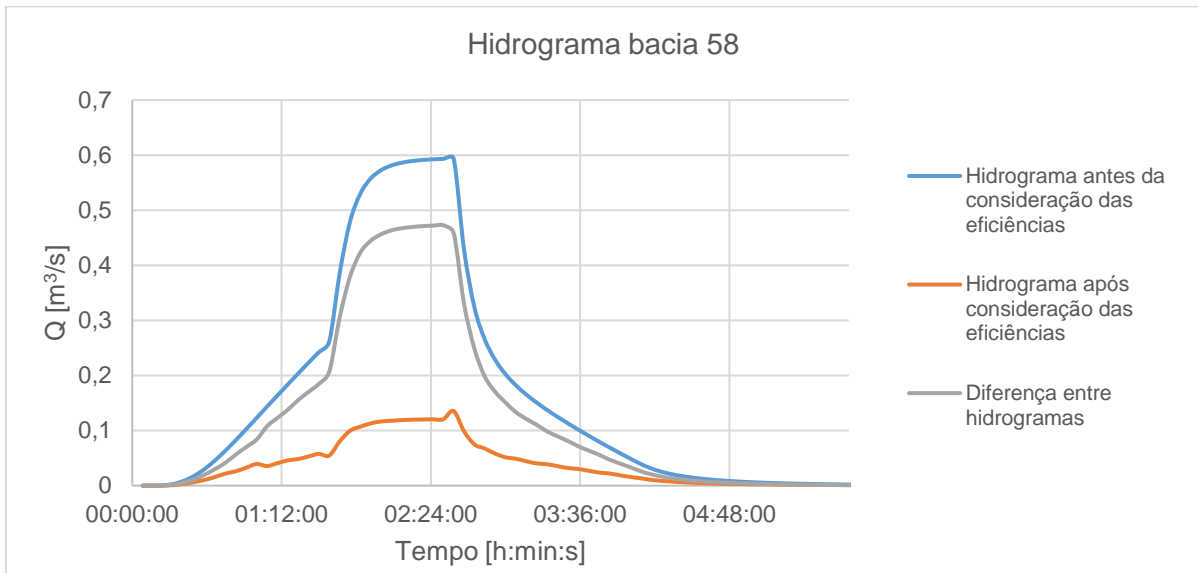
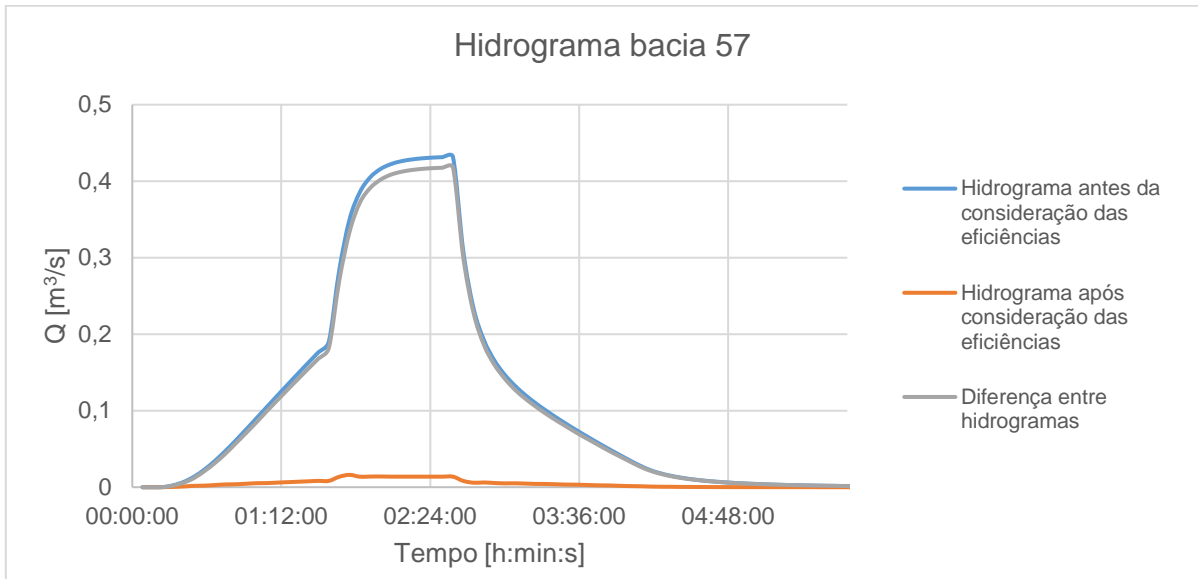


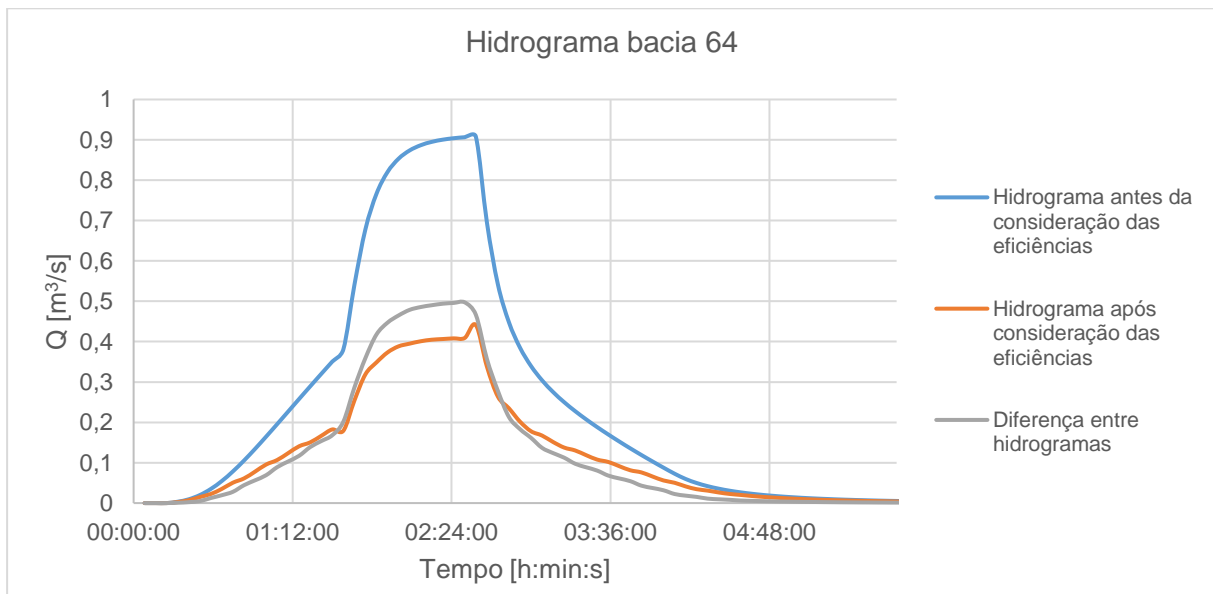
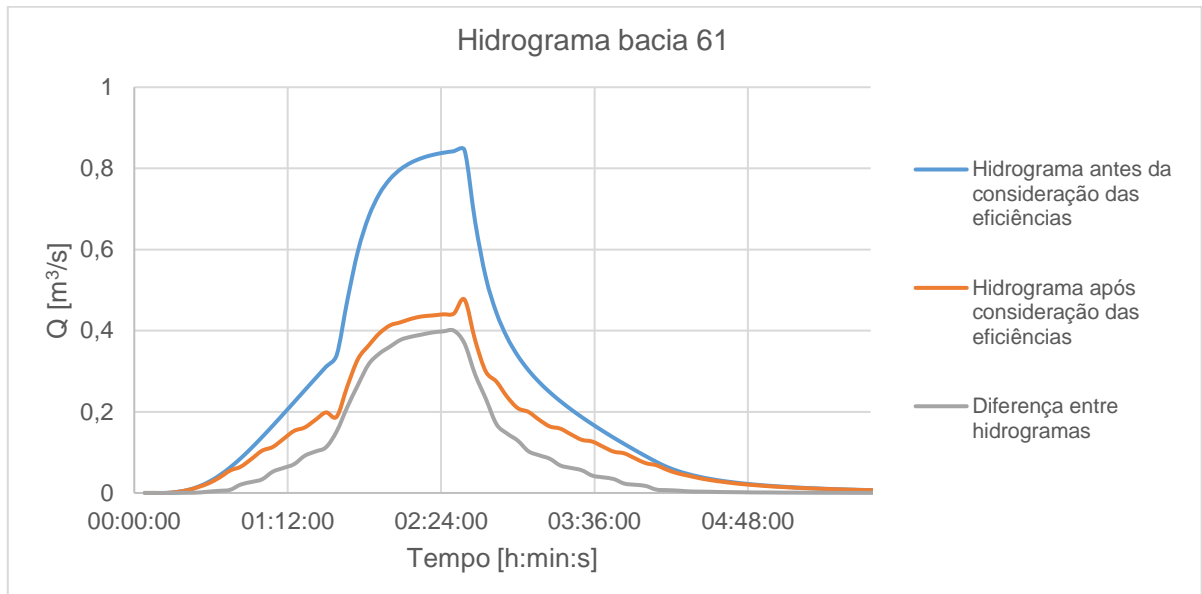
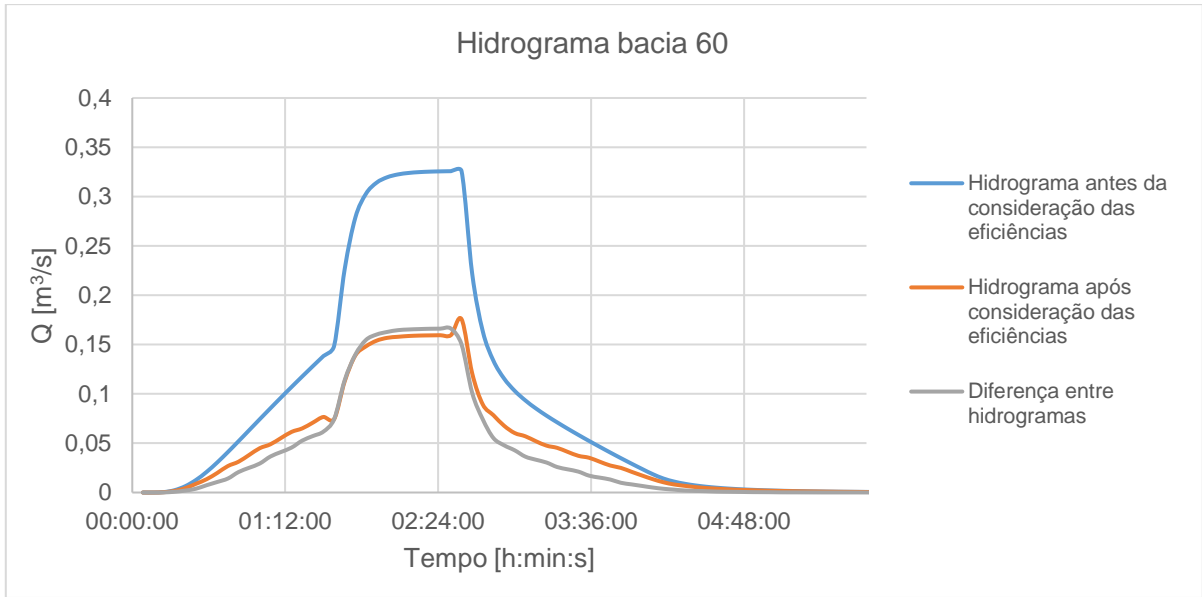






## ANEXO J – Hidrogramas de cheia para o caso de estudo de T = 10 anos





## ANEXO K – Hidrogramas de cheia para o caso de estudo de T = 10 anos otimizado

