

Influência do uso de sistemas de drenagem urbana sustentáveis versus convencionais na gestão de águas pluviais de um loteamento urbano

GABRIEL AUGUSTO HACK

Dissertação de Mestrado apresentada à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança para
obtenção do **Grau de Mestre em Engenharia da Construção**
no âmbito da **Dupla Diplomação** com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

Orientadores:

Doutora Flora Cristina Meireles Silva (ESTiG - IPB)

Doutora Ana Maria Antão-Geraldes (ESA - IPB)

Doutor Cesar Augusto Medeiros Destro (UTFPR - *Campus Pato Branco*)

Bragança, abril de 2025

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero expressar minha profunda gratidão à minha família, que sempre foi meu maior alicerce. Aos meus pais, Marcelo e Ivete, dedico este trabalho com todo o meu amor e reconhecimento. Vocês são minha maior fonte de inspiração, força e apoio incondicional. Apesar da distância durante essa jornada, nunca me faltaram palavras de incentivo, carinho e confiança, que foram essenciais para que eu pudesse superar os desafios e chegar até aqui.

Aos meus amigos, agradeço pelo companheirismo e pelas incontáveis memórias compartilhadas ao longo desta caminhada. Um agradecimento especial aos grupos MITB, Dorado is Far e Os Guri Real Life, que tornaram minha jornada ainda mais leve, divertida e significativa. Vocês foram fundamentais para me manter motivado nos momentos mais desafiadores.

Sou profundamente grato à Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, *Campus Pato Branco*, que não apenas me proporcionou uma base sólida de conhecimento, mas também a incrível oportunidade de vivenciar um programa de Dupla Diplomação. Essa experiência internacional foi enriquecedora e transformadora, permitindo-me expandir horizontes acadêmicos, culturais e pessoais.

Agradeço ao Instituto Politécnico de Bragança (IPB), em particular à Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTiG), que me acolheu calorosamente durante meu intercâmbio em Portugal. Este ano foi uma experiência única, repleta de aprendizado e vivências inesquecíveis. Guardarei para sempre as amizades construídas e os momentos vividos nesse país que conquistou um lugar especial no meu coração.

À minha orientadora, Flora Cristina Meireles Silva, e aos meus coorientadores, Ana Maria Antão-Geraldes e Cesar Augusto Medeiros Destro, agradeço ao suporte que me foi oferecido.

Por fim, dedico esta dissertação a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento e sucesso. Este trabalho é o reflexo de uma jornada repleta de desafios e conquistas, e sou imensamente grato a cada um que fez parte dessa história.

Resumo

Diante das mudanças climáticas, da impermeabilização dos solos e da intensificação de eventos climáticos extremos, a implementação de sistemas públicos resilientes de drenagem pluvial tornou-se uma medida essencial para o planejamento urbano sustentável. Nesse contexto, os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS) configuram-se como uma alternativa eficiente, destacando-se pela capacidade de retenção da água pluvial, pela mitigação de alagamentos durante períodos de precipitação intensa e pela promoção da infraestrutura verde urbana, contribuindo assim para benefícios ambientais e sociais significativos.

Partindo dessa abordagem, o presente estudo avaliou a influência dos pavimentos permeáveis e dos telhados verdes no dimensionamento de um sistema público de drenagem pluvial, comparando o seu desempenho com pavimentos e telhados convencionais e analisando os seus impactos na gestão das águas pluviais urbanas.

Para isso, considerou-se a aplicação dessas medidas sustentáveis em uma área urbana localizada na região pluviométrica B de Portugal, com aproximadamente 2,1 hectares de extensão. Os resultados indicaram que o coeficiente médio ponderado de escoamento superficial (C_m) para o cenário mais sustentável foi de 0,50, representando uma redução de 29,31% na vazão máxima em comparação ao cenário convencional, no qual o C_m foi de 0,70 para a mesma área.

Dessa forma, a substituição de estruturas convencionais por soluções mais sustentáveis, como telhados verdes e pavimentos permeáveis, demonstra potencial significativo para a redução do escoamento superficial em áreas urbanas.

Palavras-chave

Drenagem urbana sustentável; Pavimentos permeáveis; Grelhas de enrelvamento; Coberturas verdes; Legislação Portuguesa; Coeficiente de escoamento.

Abstract

In light of climate change, soil impermeabilization, and the intensification of extreme weather events, the implementation of resilient public stormwater drainage systems has become an essential measure for sustainable urban planning. In this context, Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) emerge as an efficient alternative, distinguished by their capacity to retain stormwater, mitigate flooding during intense precipitation events, and promote urban green infrastructure, thereby contributing to significant environmental and social benefits

Based on this approach, the present study evaluated the influence of permeable pavements and green roofs on the design of a public stormwater drainage system, comparing their performance with conventional pavements and roofs and analyzing their impact on urban stormwater management.

To this end, the application of these sustainable measures was considered in an urban area located in Portugal's Pluviometric Region B, covering approximately 2.1 hectares. The results indicated that the weighted average runoff coefficient (C_m) for the most sustainable scenario was 0.50, representing a 29.31% reduction in peak flow compared to the conventional scenario, where C_m was 0.70 for the same area.

Thus, replacing conventional structures with more sustainable solutions, such as green roofs and permeable pavements, demonstrates significant potential for reducing surface runoff in urban areas.

Keywords

Sustainable urban drainage; Permeable pavements; Grassing grids; Green roofs; Portuguese regulation; Runoff coefficient.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract	iii
Índice.....	iv
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas.....	viii
Lista de Abreviaturas	ix
Lista de Símbolos.....	x
Capítulo 1 - Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e justificação do tema.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura da dissertação	3
1.4. Descrição do plano de trabalho	4
Capítulo 2 - Estado da arte.....	5
2.1. Considerações gerais sobre sistemas convencionais de drenagem urbana pluvial.....	5
2.1.1. Tipos de sistemas e seus componentes	6
2.1.2. Concepção dos sistemas.....	8
2.1.3. Componentes dos sistemas	8
2.2. Considerações gerais sobre sistemas de drenagem urbana sustentáveis (SUDS)	10

2.2.1. Objetivos da implantação dos SUDS	11
2.2.2. Terminologias utilizadas mundialmente para SUDS	12
2.2.3. Diferentes tipos de SUDS	14
2.2.3.1. Coberturas verdes.....	15
2.2.3.2. Pavimentos permeáveis.....	18
Capítulo 3 - Materiais e métodos	27
3.1. Área de estudo	27
3.2. Metodologia utilizada para o dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais.....	28
3.2.1. Caudal de águas pluviais	28
3.2.2. Tempo de Concentração	29
3.2.3. Regiões pluviométricas e parâmetros das curvas Intensidade-Duração-Frequência (I-D-F)	30
3.2.4. Coeficiente de escoamento	32
3.2.5. Dimensionamento hidráulico-sanitário.....	36
3.2.6. Verificação das imposições regulamentares.....	40
3.2.7. Implantação dos coletores	42
3.2.8. Profundidades e cotas de soleira nas câmaras de visita.....	44
3.2.9. Condições de escoamento.....	45
3.3. Cenários de análise e orçamento	46
Capítulo 4 - Resultados e discussão	48
4.1. Dimensionamento da rede pública de drenagem de águas pluviais	48

4.2. Análise de custos da rede pública de drenagem de águas pluviais.....	54
Capítulo 5 - Conclusões e proposta para trabalhos futuros.....	57
5.1. Conclusões.....	57
5.2. Proposta para trabalhos futuros	59
Referências Bibliográficas	60
Anexos	66
Anexo A	67
Cálculo hidráulico, elementos para implantação dos coletores e das câmaras de visita.....	67
Anexo B.....	89
Participação enquanto estudante de Dupla Diplomação IPB/UTFPR	89

Lista de Figuras

Figura 2.1: Sistema do tipo unitário (Marques & Souza, 2018).	6
Figura 2.2: Sistema do tipo separativo (Marques & Sousa, 2018).....	7
Figura 2.3: Coberturas verdes na Praça de Lisboa, Porto. Disponível em: < https://sustentarqui.com.br/revitalizacao-de-area-no-porto/ >. Acesso em 07 agosto 2024... 15	15
Figura 2.4: Exemplo de cobertura verde no edifício da Câmara Municipal de Bragança.	16
Figura 2.5: Comparação de Tipologias das Coberturas Verdes (adaptada de Pinto, 2014).....	17
Figura 2.6: Seção transversal típica de um pavimento permeável (Lourenço, 2014).	19
Figura 2.7: Comparação dos benefícios e limitações das superfícies permeáveis mais comuns em relação ao asfalto (European Commission, 2012).....	21
Figura 2.8: Características geométricas de blocos para pavimentos (Morgado, 2008).....	22
Figura 2.9: Sistema de asfalto permeável (Inovacivil, 2019).....	24
Figura 2.10: Grelhas de enrelvamento, Macedo de Cavaleiros.....	25
Figura 3.1: Vista geral do loteamento urbano (desenho sem escala).	27
Figura 3.2: Regiões Pluviométricas (Marques & Sousa, 2018).	31
Figura 3.3: Terreno inclinado - atinge-se o recobrimento mínimo a jusante (Marques & Sousa, 2018).....	42
Figura 3.4: Terreno plano - não se atinge o recobrimento mínimo a jusante (Marques & Sousa, 2018).	43
Figura 3.5: Terreno muito inclinado (Marques & Sousa, 2018).	44
Figura 3.6: Implantação dos coletores (Marques & Sousa, 2018).	45
Figura 3.7: Diâmetros de tubos coletores para drenagem pluvial (Fersil, s.d.).....	46
Figura 4.1: Traçado das redes públicas de drenagem de águas pluviais (azul) e residuais (cinzento) (desenho sem escala).....	49

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Comparação das diferentes terminologias para Sistemas de Drenagem Sustentável.	14
Tabela 2.2: Comparação das tipologias de coberturas verdes (FLL, 2018 in ANCV, 2019). .	16
Tabela 2.3: Classificação com base nos materiais do pavimento (adaptado de Zhou et al., 2024).	20
Tabela 3.1: Valores de referência para o tempo de entrada (Marques & Sousa, 2018).	30
Tabela 3.2: Parâmetros das curvas Intensidade-Duração-Frequência (Marques & Sousa, 2018)	32
Tabela 3.3: Valores médios do coeficiente de escoamento (Marques & Sousa, 2018).	33
Tabela 3.4: Valores recomendados para o coeficiente de escoamento C (adaptada de ETA ANQIP 0701:2024)	34
Tabela 3.5: Valores para o coeficiente de escoamento C obtidos em diversos estudos.....	35
Tabela 3.6: Valores recomendados para o coeficiente de escoamento C (Manual da Comissão Europeia: Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos).	36
Tabela 4.1: Área das superfícies do loteamento e coeficiente de escoamento.....	48
Tabela 4.2: Cenários propostos para o dimensionamento.....	50
Tabela 4.3: Área efetiva para os 6 cenários.	51
Tabela 4.4: Tempo de concentração e intensidade de precipitação para os 6 cenários.....	51
Tabela 4.5: Redução de caudal entre cenários.	53
Tabela 4.6: Resumo do orçamento para os 6 cenários	55

Lista de Abreviaturas

ANCV	Associação Nacional de Coberturas Verdes
ANQIP	Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais
BMP	<i>Best Management Practices</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CI	Coberturas Inclinadas
CP	Coberturas planas
CP _i	Coletor de águas pluviais
CV	Coberturas Verdes
ESTiG	Escola Superior de Tecnologia e Gestão
GI	Green Infrastructure
I-D-F	Curvas Intensidade-Duração-Frequência
IPB	Instituto Politécnico de Bragança
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LID	<i>Low Impact Development</i>
Máx	Máximo
Mont.	Montante
Mín	Mínimo
P _i	Câmara de visita
PP	Polipropileno Corrugado
RGSPDADAR	Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais
SUDS	Sistemas de Drenagem Urbanos Sustentáveis
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VAT	<i>Value Added Tax</i>
WFD	Water Framework Directive
WSUD	<i>Water Sensitive Urbane Design</i>

Lista de Símbolos

$h_{m\acute{a}x R}$	Altura da lâmina líquida	L
h	Altura do escoamento	L
θ	Ângulo ao centro	Radianos
A	Área da bacia	L^2
A_m	Área molhada ou área da secção do escoamento	L^2
Q	Caudal	L^3T^{-1}
C	Coefficiente de escoamento	-
C_i	Coefficiente de escoamento da área i	
C_m	Coefficiente de escoamento médio ponderado	-
K_s	Coefficiente de rugosidade	$L^{1/3}T^{-1}$
L	Comprimento do coletor	L
C_{sol}	Cota da soleira	L
D	Diâmetro	L
D_{int}	Diâmetro interno	L
$D_{mín R}$	Diâmetro nominal mínimo	L
DN	Diâmetro nominal/comercial	L
t_p	Duração da precipitação	T
i	Inclinação do coletor	%
$i_{terreno}$	Inclinação do terreno	%
$i_{m\acute{a}x v}$	Inclinação máxima para cumprir a velocidade máxima	%
$i_{m\acute{a}x R}$	Inclinação máxima regulamentar	%
$i_{mín h}$	Inclinação mínima para cumprir a altura mínima	%
$i_{mín v}$	Inclinação mínima para cumprir a velocidade mínima	%
$i_{mín R}$	Inclinação mínima regulamentar	%
i_{col}	Inclinação que o coletor deve adotar	%
I	Intensidade média de precipitação	LT^{-1}
$i_{m\acute{a}x}$	Maior inclinação que o coletor pode adotar	%
$i_{mín}$	Menor inclinação que o coletor pode adotar	%
P_m	Perímetro molhado	L
P_{sol}	Profundidade da soleira	L
ΔH	Queda na caixa de visita	L

R_h	Raio hidráulico	L
R_{jus}	Recobrimento a jusante	L
R_{mont}	Recobrimento a montante	L
$R_{mín jus}$	Recobrimento mínimo exigido a jusante	L
$R_{mín mont}$	Recobrimento mínimo exigido a montante	L
T_R	Período de retorno	T
t_c	Tempo de concentração	T
$t_{entrada}$	Tempo de entrada	T
$t_{percurso}$	Tempo de percurso	T
$V_{máx R}$	Velocidade máxima de escoamento	LT^{-1}
V	Velocidade média de escoamento	LT^{-1}
$V_{mín R}$	Velocidade mínima de escoamento	LT^{-1}
\emptyset	Diâmetro	L

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Enquadramento e justificação do tema

Desde a Revolução Industrial, as cidades têm crescido de maneira desordenada e exponencial. Segundo o “Relatório Mundial das Cidades” (UN-Habitat, 2022), a população residente em áreas urbanas, atualmente em aproximadamente 56%, aumentará para 68% até o ano de 2050. Esse rápido crescimento urbano traz diversos desafios, entre eles a alteração no uso do solo e a consequente impermeabilização do mesmo. Essa adversidade reduz a infiltração natural de água, aumentando significativamente o escoamento superficial e diminuindo os tempos de concentração, o que origina caudais de ponta mais elevados.

Outrossim, as alterações climáticas estão tornando mais frequentes os eventos meteorológicos extremos em várias regiões do mundo (IPCC, 2022). Esse fato, somado à impermeabilização dos solos nas áreas urbanas, resulta em casos recorrentes de inundação. Um exemplo devastador ocorreu no Haiti e na República Dominicana em maio de 2004, onde milhares de pessoas ficaram desalojadas e cerca de 2600 morreram. Recentemente, no Brasil, em maio de 2024, enchentes devastaram o estado do Rio Grande do Sul, deixando milhares de desabrigados e totalizaram 173 mortos em toda região.

Em Portugal, há registros de enchentes que causaram elevados danos às cidades, resultando em perdas humanas e econômicas significativas. O exemplo mais devastador são as cheias de 1967 em Lisboa, que resultaram na morte de 462 pessoas. Mais recentemente, em 20 de fevereiro de 2010, na Ilha da Madeira, 47 pessoas morreram e 600 ficaram desalojadas devido a inundações.

Tendo em vista isso, uma das maneiras para mitigar esses problemas é a execução ou ampliação dos projetos de drenagem urbana. A rede de drenagem, tem o papel de transportar as águas pluviais coletadas em seu trajeto até um corpo hídrico apropriado, como rios, lagos e córregos, permitindo que essas águas continuem seu ciclo natural sem causar transtornos à população. Sendo, a forma mais comum de implementar esses projetos a utilização de tubulações enterradas para suprir a demanda de escoamento.

Entretanto, em diversos casos de projetos já concretizados, a estimativa para o cenário de pós-ocupação não é satisfatória, tornando os transtornos supracitados

recorrentes (Miguez; Verol & Rezende, 2015). Além disso, os projetos tradicionais possuem um elevado custo de instalação, especialmente em casos de readequação da rede, além de causarem enormes impactos ambientais e interferirem no funcionamento das cidades.

Diante disso, os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS), como pavimentos permeáveis, cisternas, telhados verdes e valas de infiltração, surgem como alternativas para atenuar eventos de precipitação extrema e solucionar esse problema no cenário de pós-ocupação (Tang et al., 2021). Ademais, promovem a integração paisagística e complementam a infraestrutura já existente, trazendo benefícios ecológicos e sociais monetizáveis a longo prazo (Wolf, 2003).

Todavia, diferentemente dos sistemas clássicos, que apenas buscam dispersar a água dos centros urbanos, os SUDS focam no aprimoramento dos corpos d'água, visando compensar sistematicamente as consequências da urbanização, com ênfase em promover um menor impacto ao meio ambiente e tratar as águas com qualidade. Dessa forma, a gestão eficiente das águas pluviais é necessária para o planejamento urbano, sendo crucial para prevenir a contaminação de corpos hídricos e as inundações.

Com base no exposto até então, o presente trabalho apresentará uma análise da utilização de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável em um loteamento urbano situado na região Nordeste de Portugal, com o intuito de verificar a eficiência das alternativas sustentáveis na redução do percentual de escoamento, mensurado através da vazão de projeto, que é direcionado à rede pública de drenagem de águas pluviais.

1.2. Objetivos

▪ Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho é simular o sistema de drenagem urbana de um loteamento situado no Nordeste de Portugal, especificamente na região pluviométrica B, comparando a rede convencional projetada com a inserção de alternativas sustentáveis. Pretende-se verificar a eficiência dos Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS) na redução do percentual de escoamento, mensurando-o através do caudal de projeto direcionado à rede pública de drenagem de águas pluviais.

▪ **Objetivos específicos**

Como objetivos secundários destacam-se:

- i. Análise de cenários distintos, cada um com uma proposta diferente de alternativa sustentável para reduzir o caudal presente na rede;
- ii. Comparar o potencial de redução da rede com a adoção de medidas sustentáveis em seu planejamento;
- iii. Análise da estimativa de custos dos diferentes cenários.

1.3. Estrutura da dissertação

Com vista ao cumprimento dos objetivos referidos, a presente dissertação foi estruturada em cinco capítulos. Posto isto, o Capítulo 1 inicia-se com o enquadramento e a justificativa do tema proposto, delineando os objetivos geral e específicos, a estrutura da dissertação e o plano de trabalho.

No Capítulo 2, realiza-se uma revisão bibliográfica abrangente sobre o tema, focalizando no sistema convencional de drenagem de águas pluviais, no sistema urbano de drenagem sustentável e nas medidas sustentáveis que serão abordadas.

O Capítulo 3 aborda a metodologia adotada, iniciando pela apresentação da área de estudo. Em seguida, são detalhados os critérios de dimensionamento do sistema público de drenagem de águas pluviais, assim como os parâmetros utilizados para a quantificação dos materiais e a elaboração dos orçamentos correspondentes aos cenários propostos.

No Capítulo 4, são apresentados os resultados do dimensionamento da rede para cada cenário proposto, acompanhados de uma análise detalhada e uma comparação dos custos correspondentes.

Por fim, no Capítulo 5 são abordadas as considerações finais do estudo, bem como propostas para pesquisas futuras. Este capítulo também inclui uma lista das referências bibliográficas utilizadas no trabalho e anexos contendo tabelas com os cálculos hidráulicos, elementos para implantação dos coletores e das câmaras de visita, além das participações do autor deste estudo enquanto estudante de dupla diplomação.

1.4. Descrição do plano de trabalho

Com a finalidade de realização do estudo proposto elaborou-se um plano de trabalho que possui 4 fases, apresentadas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1. Fases e períodos do desenvolvimento do trabalho e respectiva descrição.

Fases	Tipo de Trabalho	Descrição
1		Revisão bibliográfica sobre o tema
2	Recolha de dados	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação dos desenhos no <i>software</i> AutoCAD (versão estudante) referentes ao loteamento urbano; • Solicitação de cotações para a elaboração dos mapas orçamentários.
3	Trabalho prático de dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Escolha de medidas sustentáveis que serão adicionadas no projeto convencional de drenagem de águas pluviais; • Dimensionamento da rede convencional de drenagem de águas pluviais; • Dimensionamento da rede drenagem de águas pluviais com a inserção de medidas sustentáveis de acordo com os cenários propostos; • Elaboração de orçamentos; • Estudo comparativo dos cenários projetados.
4		Redação do trabalho

Capítulo 2 - Estado da arte

2.1. Considerações gerais sobre sistemas convencionais de drenagem urbana pluvial

Os sistemas de drenagem de águas pluviais estão diretamente ligados à qualidade de vida das pessoas e devem ser essenciais no planeamento urbano, pois garantem o transporte das águas das chuvas para um meio adequado, evitando a ocorrência de inundações e preservando a qualidade dos corpos d'água receptores (Marques & Sousa, 2018).

De forma geral, os sistemas públicos de drenagem de águas pluviais em Portugal devem ser projetados para atender aos requisitos estipulados pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto - Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR). Esse regulamento abrange os sistemas de distribuição pública e predial de água, bem como a drenagem pública e predial de águas residuais e pluviais, com o objetivo de garantir o adequado funcionamento das redes e promover a preservação da segurança e saúde dos usuários.

Segundo o artigo 115.º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, as águas pluviais resultam da precipitação atmosférica caída diretamente no local ou em bacias limítrofes contribuintes, geralmente apresentando menores quantidades de matéria poluente. Ademais, são também consideradas águas pluviais aquelas provenientes da irrigação de jardins e espaços verdes, bem como da lavagem de arruamentos, passeios, pátios e parques de estacionamento, sendo normalmente recolhidas por sarjetas, sumidouros e ralos.

Na maioria dos sistemas de drenagem projetados, adota-se a abordagem convencional devido à sua eficácia em coletar e transportar rapidamente grandes volumes de água. A infraestrutura típica desse tipo de construção inclui sarjetas, sumidouros, câmaras de visita, coletores, galerias pluviais e instalações complementares. Esses elementos são projetados com uma estrutura física robusta, o que resulta em um elevado custo de implementação e em muitos casos, torna inviável a execução do projeto.

Assim, para minizar os custos de projeto, segundo Marques & Sousa (2018) deve-se:

- Reduzir a extensão das redes de coletores e dos respectivos diâmetros;
- Optar por soluções de drenagem não convencionais, ou seja, soluções que incluam critérios de sustentabilidade;
- Preocupar-se com a integração da rede com áreas permeáveis e semi-permeáveis.

2.1.1. Tipos de sistemas e seus componentes

O artigo 116.º do Decreto Regulamentar n.º 23/95 aborda os diferentes tipos de sistemas de drenagem de águas residuais e pluviais, especificando que os mesmos podem ser classificados em função da origem das águas que escoam, em quatro tipos: sistemas unitários, separativos, mistos e sistemas separativos parciais ou pseudo-separativos.

- **Unitários**

Os sistemas unitários, demonstrados na Figura 2.1, são compostos por uma única rede de coletores que admite conjuntamente águas residuais domésticas, industriais e pluviais. Dessa forma, todas as águas que precisam ser removidas dos aglomerados populacionais, são coletadas e drenadas.

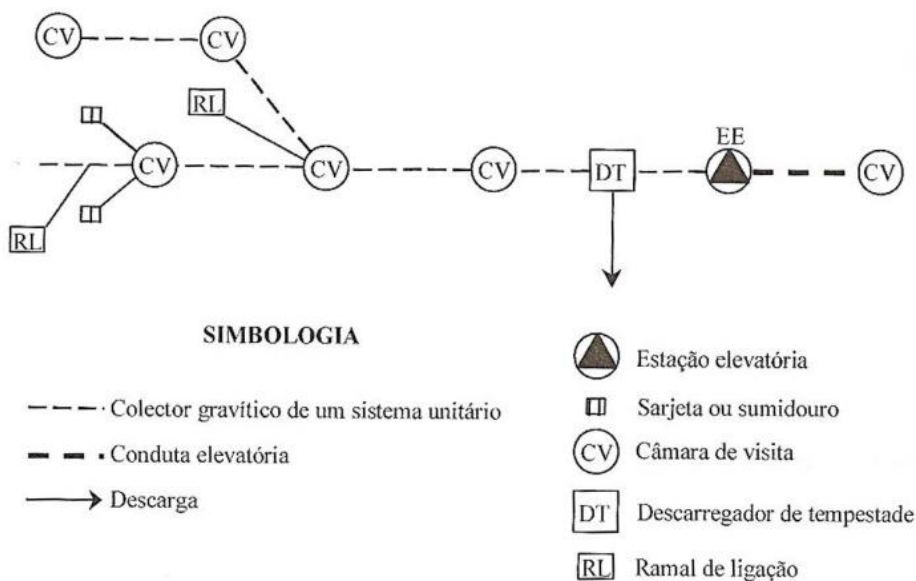


Figura 2.1: Sistema do tipo unitário (Marques & Souza, 2018).

- **Separativos**

Os sistemas separativos, demonstrados na Figura 2.2, são compostos por duas redes de coletores distintas: uma destinada às águas residuais provenientes de fontes domésticas e industriais, e outra destinada às águas pluviais ou similares, sem nenhuma ligação entre as duas redes. A principal vantagem desse tipo de sistema é a menor concentração de poluentes, devido à separação dos dois tipos de efluentes.

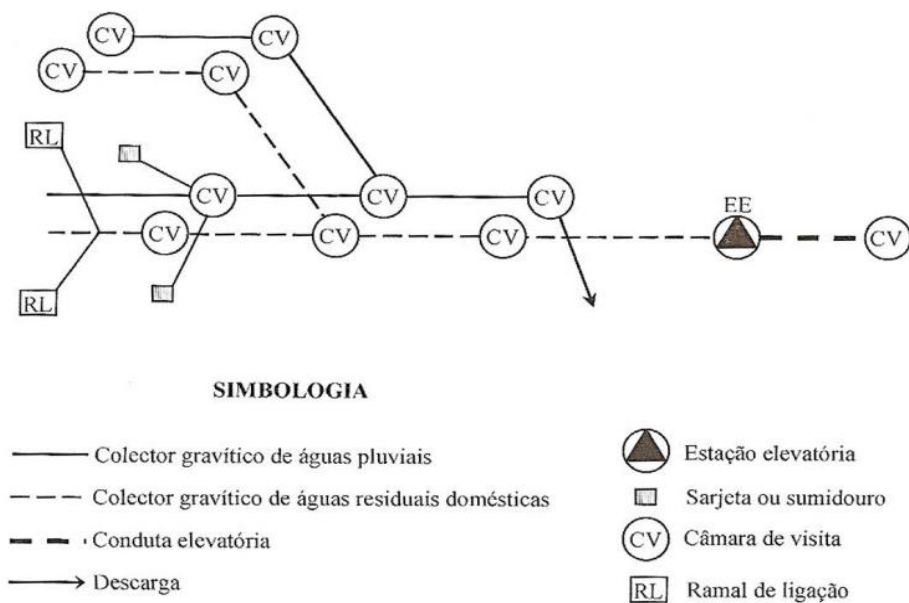


Figura 2.2: Sistema do tipo separativo (Marques & Sousa, 2018).

- **Mistos**

Basicamente, trata-se da conjugação das duas abordagens apresentadas anteriormente, onde uma ou mais partes da rede são unitárias e uma ou mais partes são separativas.

- **Separativos parciais ou pseudo-separativos**

São sistemas nos quais, em condições excepcionais, é permitida a ligação de águas pluviais de pátios interiores ao coletor de águas residuais domésticas. Um exemplo disso é a ligação de tubagens de drenagem de telhados à rede separativa de águas residuais domésticas, devido a dificuldades físicas e construtivas para a ligação à rede pluvial.

2.1.2. Concepção dos sistemas

O Decreto Regulamentar n.º 23/95 estabelece que, na concepção dos sistemas de drenagem de águas pluviais, devem ser cuidadosamente analisadas as áreas onde o escoamento pode ocorrer superficialmente, visando reduzir a extensão da rede por razões económicas. Além disso, é necessário avaliar soluções que, interferindo tanto na bacia hidrográfica quanto no próprio sistema de drenagem, possam contribuir para a redução de caudais de ponta por meio de armazenamento.

Segundo o artigo 119.º, para a concepção de sistemas de drenagem de águas pluviais em novas áreas de urbanização, deve-se adotar, em princípio, o sistema separativo. É obrigatória a concepção conjunta do sistema de drenagem de águas residuais domésticas e industriais e do sistema de drenagem de águas pluviais, independentemente de eventuais faseamentos diferidos de execução das obras.

Outrossim, na remodelação de sistemas unitários ou mistos existentes, deve-se considerar a transição para o sistema separativo. No entanto, se, devido a condicionamentos locais, a aplicação dessa transição for inviável, especialmente pela dificuldade de estabelecimento de ramais de ligação, é possível manter os sistemas unitários.

Além desses aspectos, no artigo 137.º, o RGSPPDADAR determina que a profundidade mínima entre o extradorso do coletor e o pavimento da via pública deve ser de 1 m. No entanto, essa profundidade mínima pode ser maior, dependendo das condições locais, como o trânsito, a inserção dos ramais de ligação ou a instalação de outras estruturas. Em casos excepcionais, profundidades menores podem ser aceitas, desde que os coletores sejam devidamente protegidos para resistir a sobrecargas. Neste estudo de caso, foi considerada uma profundidade (recobrimento mínimo) de 1,0 m.

2.1.3. Componentes dos sistemas

Em relação aos sistemas de drenagem de água pluvial em áreas urbanas (Marques & Sousa, 2018), afirmam que eles são compostos essencialmente por redes de coletores e elementos acessórios, podendo incluir órgãos especiais e instalações complementares.

A **rede de coletores** é formada por canalizações principais e secundárias, garantindo o transporte das águas pluviais desde o dispositivo de entrada, até um ponto de lançamento ou destino final. Geralmente, é constituída por coletores de betão de secção circular (Marques & Sousa, 2018).

Ademais, os elementos acessórios são compostos pelos dispositivos de entrada (sarjetas de passeio e sumidouros) e pelas caixas de visita. As definições e características desses elementos são encontradas no artigo 163.º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, conforme exemplificado abaixo:

- Os **dispositivos de entrada** podem contar com sifonagem e câmaras de retenção de sólidos. Além disso, deve-se prever a instalação das **sarjetas** ou **sumidouros** nos seguintes locais: pontos mais baixos das vias públicas, cruzamentos e ao longo dos percursos das valetas, de modo a garantir que os critérios de dimensionamento hidráulico sejam respeitados e a largura da lâmina de água não exceda o valor estipulado no dimensionamento;
- **Sarjetas de passeio:** são dispositivos com entrada lateral de água na rede de escorrência superficial, normalmente são integrados em um lancil de passeio. Sendo, por vezes comum encontrar esse elemento combinado com os sumidouros;
- **Sumidouros:** são dispositivos com entrada superior das águas de escorrência, geralmente são instalados no pavimento das vias pública. Por essa razão, é necessário que possuam uma grade no topo, permitindo a entrada de água sem comprometer a circulação de veículos;
- As **caixas de visita** são destinadas a facilitar o acesso aos coletores e são utilizadas para inspeção, limpeza e manutenção. É obrigatória a instalação de câmaras de visita nos seguintes locais: nas confluências dos coletores; nos pontos de mudança de direção, inclinação e diâmetro dos coletores; e ao longo dos alinhamentos retos, com espaçamento máximo de 60 metros para coletores não visitáveis e 100 metros para coletores visitáveis.

No que tange aos **orgãos especiais e às instalações complementares**, deve-se destacar os subsequentes:

- **Desarenadores:** os desarenadores são instalações complementares destinadas a evitar o acúmulo de materiais granulares transportados pelas águas pluviais.

Existem dois tipos de desarenadores: retangulares (convencionais) e circulares (não convencionais);

- **Bacias de retenção:** são utilizadas com o intuito de regularizar os caudais pluviais afluentes em sistemas unitários ou separativos pluviais, restituindo, a jusante, caudais compatíveis com a capacidade de transporte da rede de drenagem ou curso de água;
- **Câmaras drenantes:** são utilizados para retenção e infiltração da água pluvial e podem ser associadas ou não a sistemas de drenagem convencionais constituídos por coletores enterrados;
- **Instalações elevatórias:** permite o transporte da água para pontos de cotas mais elevados. Porém, deve-se evitar sempre que possível devido a variabilidade dos caudais afluentes e a dificuldade de se manter em bom funcionamento dos grupos electrobomba e da conduta de impulsão.

2.2. Considerações gerais sobre sistemas de drenagem urbana sustentáveis (SUDS)

Atualmente, ao projetar sistemas de drenagem de águas pluviais, não basta apenas se concentrar em coletar e transportar essas águas para longe das áreas centrais. É essencial considerar outros aspectos importantes na gestão de águas urbanas, como a qualidade do escoamento, o valor recreativo, a proteção ecológica e a amenidade visual (Chocat et al., 2007). A preocupação com a qualidade da água tornou-se cada vez mais relevante no projeto de drenagem urbana, principalmente após os anos 2000, quando a União Europeia lançou o *Water Framework Directive (WFD)*, visando garantir a boa saúde qualitativa e quantitativa dos corpos d'águas europeus.

Dessa forma, a preocupação em incluir Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis (SUDS) nos projetos tem-se tornado cada vez mais evidente. Os SUDS complementam a infraestrutura dos sistemas convencionais e servem como uma ferramenta para mitigar os impactos da urbanização, além de aumentar a resiliência a eventos extremos de chuvas em áreas urbanas (Zhu et al., 2019). Além disso, esses sistemas oferecem múltiplos benefícios ambientais, ajudam a reduzir os impactos das mudanças climáticas e proporcionam vantagens ecológicas e sociais (Ghodsi et al., 2020).

Esse tipo de sistema vem sendo utilizado desde a década de 1990 e, aos poucos, vem transformando o conceito de uma cidade projetada para carros, com construções exageradas e altos níveis de impermeabilidade para uma cidade projetada para pessoas, com mais espaços verdes e permeáveis (Rodríguez-Rojas et al., 2024). Assim, a integração dos SUDS no planejamento urbano torna-se cada vez mais inevitável, não apenas como uma intervenção tardia nos sistemas, mas também como uma ferramenta de prevenção (Dickie et al., 2011).

2.2.1. Objetivos da implantação dos SUDS

Uma importante publicação que aborda os SUDS é “The Water Sensitive City: Principles for Practice”. Nela, Wong e Brown (2009) consideram que a integração dessas medidas no planejamento urbano deve aproveitar diferentes fontes de abastecimento de água em diferentes escalas, além de fornecer serviços ecossistêmicos e promover comunidades sensíveis à água. Com base nesses 3 tópicos, segundo os autores, devem ser levados em consideração os seguintes princípios para a integração dos SUDS no planejamento urbano:

- Para que as cidades possam beneficiar dos recursos hídricos que produzem, é essencial que seu planejamento considere a alta impermeabilidade dos ambientes urbanos, que, embora frequentemente vista como uma ameaça devido à grande quantidade de água gerada, também pode ser considerada um recurso. Assim, a coleta de água da chuva deve ser uma prioridade, e as cidades devem ser projetadas para reter, infiltrar e reutilizar essa água de maneira eficiente;
- Os serviços ecossistêmicos devem ser integrados ao ambiente natural de modo a contribuir para as funções do ciclo hidrológico. Nesse contexto, as redes viárias podem ser planejadas para transportar águas pluviais até locais adequados para infiltração ou reutilização, reduzindo, assim, as probabilidades de inundação;
- As cidades devem ser projetadas com o objetivo de fomentar comunidades sensíveis à água, adotando práticas de ordenamento territorial que sejam mais coerentes e eficazes diante dos desafios enfrentados pelo ambiente urbano.

Outrossim, segundo o descrito por Lourenço (2014), a correta aplicação dos SUDS ocorre se forem cumpridos os seguintes objetivos:

- Reduzir tanto os picos como o volume de escoamento superficial;
- Minimizar o transporte de poluição das zonas urbanas para o meio hídrico recetor;
- Proteger os sistemas naturais;
- Integrar o tratamento de águas pluviais na paisagem;
- Recolher as águas pluviais de forma a substituir a água da rede em aplicações que não exijam níveis de qualidade elevados;
- Menor impacto das cheias para as populações;
- Harmonização das paisagens urbanas e residenciais;
- Melhorar a qualidade de vida urbana e o valor estético urbano;
- Reduzir os prejuízos ambientais e económicos causados por cheias.

2.2.2. Terminologias utilizadas mundialmente para SUDS

As práticas inovadoras referidas em 2.2 têm sido cada vez mais adotadas em cidades ao redor do mundo. No entanto, com a popularização do método, surgiram diferentes terminologias para se referir aos Sistemas de Drenagem Sustentável. Segundo o estudo de Fletcher et al. (2015), que analisa o uso de termos até 2012, as designações mais utilizadas globalmente são: SUDS, LIDs, BMPs, GI e WSUD.

O termo *SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems)* foi introduzido originalmente na década de 1990 nos países britânicos. Atualmente, esse termo é amplamente utilizado na Europa e refere-se a um conjunto de práticas de gestão de águas pluviais que buscam alinhar os sistemas de drenagem convencionais com processos naturais. Os SUDS complementam a infraestrutura presente e minimizam os impactos da urbanização (Rodríguez-Rojas & Grindlay Moreno, 2022).

Outra terminologia amplamente utilizada é o “*Low Impact Developments (LIDs)*”. Inicialmente conceituado no início da década de 1990 pelo Departamento de Recursos Ambientais de Condado de Prince George, nos Estados Unidos, o termo LIDs

é comumente utilizado na América do Norte, Ásia e Nova Zelândia. Além disso, sua utilização é baseada no controle das águas pluviais na fonte, empregando soluções distribuídas em microescala, com um conceito muito semelhante ao dos SUDS (Fletcher et al., 2015).

Na América do Norte também é comum o uso do termo “*Best Management Practices (BMPs)*”. Historicamente, esse conceito é empregado para referir-se a técnicas destinadas ao controle da poluição em águas residuais e pluviais, aplicadas para proteger a qualidade da água e promover a qualidade do solo (Rodríguez-Rojas & Grindlay Moreno, 2022).

Outrossim, a expressão “*Green Infrastructure (GI)*” é utilizada para referir-se ao fornecimento e manutenção de espaços verdes naturais e seminaturais integrados à infraestrutura construída, também conhecida como “infraestrutura cinza”. Esse termo surgiu nos Estados Unidos na década de 1990 e, atualmente, é empregado em diversas regiões do mundo (Evans et al., 2022).

Na Austrália, o termo que possui maior utilização é o “*Water Sensitive Urban Design (WSUD)*”, que também começou a ser aplicado no início da década de 1990. O WSUD é uma abordagem de planejamento urbano e engenharia que visa integrar os ciclos da água no ambiente urbano, com o objetivo de minimizar a degradação ambiental e melhorar o apelo estético e recreativo desses espaços (Rodríguez-Rojas & Grindlay Moreno, 2022).

Embora as terminologias sejam muito semelhantes, existem nuances que as distinguem. Diante do exposto, a Tabela 2.1 apresenta um resumo das principais características das diferentes terminologias utilizadas para se referir aos Sistemas de Drenagem Sustentável.

Tabela 2.1: Comparação das diferentes terminologias para Sistemas de Drenagem Sustentável.

Termo	Lugares com maior aplicação	Definição	Objetivos
SUDS	Europa	Alinhar os sistemas de drenagem convencionais com processos naturais	Absorver chuvas extremas, complementar a infraestrutura convencional e minimizar os impactos da urbanização
LIDS	América do Norte, Ásia e Nova Zelândia	Controle das águas pluviais na fonte com medidas mais sustentáveis que as convencionais	Reduzir o volume de escoamento, carga de poluentes e pico de fluxo, minimizando os custos
BMPs	América do Norte	Técnicas destinadas ao controle da poluição em águas residuais e pluviais	Proteger a qualidade da água e promover a conservação do solo
GI	Mundialmente	Manutenção de espaços verdes naturais e seminaturais dentro da infraestrutura “cinza” construída	Melhorar a qualidade do ar, diminuir a temperatura e a poluição, além de criar oportunidades recreativas
WSUD	Austrália	Meios para integrar os ciclos das águas presentes na cidade no projeto	Minimizar a degradação ambiental, melhorar o apelo estético e recreativo

2.2.3. Diferentes tipos de SUDS

Existem diversas abordagens diferentes para aplicação dos SUDS em áreas urbanas. O tipo de sistema a ser implementado deve estar diretamente relacionado às características do local, incluindo a legislação, as propriedades do solo, o relevo, a urbanização já existente e a validação do projeto. Dessa forma, a medida adotada precisa ser funcional e oferecer uma capacidade adequada de retenção e purificação de água, contribuindo para a redução do caudal no sistema e cumprindo os objetivos que foram mencionados no tópico anterior.

Entre as técnicas que podem ser aplicadas, destacam-se alguns tipos de instalações, tais como: coberturas verdes, pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, jardins de chuva, cisternas, bacias de retenção e lagos. A descrição pormenorizada destes SUDS pode ser encontrada nas dissertações de Santos (2010) e de Lourenço (2014).

Sendo assim, levando em consideração a análise dos itens supracitados, a presente dissertação vai focar-se apenas nas coberturas verdes e nos pavimentos permeáveis.

2.2.3.1. Coberturas verdes

As coberturas verdes (CV), também conhecidas por telhados verdes ou telhados vivos, são um exemplo de solução que pode ser integrada com outras estratégias para fomentar a economia circular da água em ambientes urbanos. Apesar de terem sido mencionadas desde os tempos da antiga Mesopotâmia, a popularização significativa dos telhados verdes ocorreu apenas na década de 1970, especialmente na Alemanha e nos Estados Unidos (ANCV, 2019). Em Portugal, exemplos notáveis surgiram no final do século XX e início do século XXI, como é o caso da cobertura verde na Praça de Lisboa no Porto (Figura 2.3) e na Câmara Municipal de Bragança (Figura 2.4).



Figura 2.3: Coberturas verdes na Praça de Lisboa, Porto. Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/revitalizacao-de-area-no-porto/>>. Acesso em 07 agosto 2024



Figura 2.4: Exemplo de cobertura verde no edifício da Câmara Municipal de Bragança.

Estas estruturas são planejadas com base em diretrizes técnicas e consistem no plantio de vegetação sobre um substrato, que é apoiado por camadas de outros materiais em uma estrutura construída (ANCV, 2019). Existem três tipos distintos de coberturas verdes, sendo elas nomeadas: extensivas, semi-intensivas e intensivas. As diferenças entre os métodos são apresentadas na Tabela 2.2 e ilustradas na Figura 2.5.

Tabela 2.2: Comparação das tipologias de coberturas verdes (FLL, 2018 in ANCV, 2019).

	Cobertura Extensiva	Cobertura Semi-intensiva	Cobertura Intensiva
Exigência quanto à manutenção	Após a vegetação instalada requer pouca manutenção	Requer manutenção moderada	Requer manutenção elevada
Camada de Substrato	<ul style="list-style-type: none"> Substrato mineral, poroso; Baixa espessura (8-15 cm) 	<ul style="list-style-type: none"> Substrato mineral; Espessura entre 15 e 25 cm 	<ul style="list-style-type: none"> Preferencial substrato mineral ou terra vegetal modificada; Espessura superior a 25 cm
Camada de vegetação	Plantas suculentas e herbácea	Plantas herbáceas, sub-arbustivas e arbustivas	Plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas

	Cobertura Extensiva	Cobertura Semi-intensiva	Cobertura Intensiva
Carga sobre a estrutura	80 - 180 kg/m ² (0,59 - 1,77 kN/m ²)	150 - 350 kg/m ² (1,47 - 3,43 kN/m ²)	> 350 kg/m ² (3,43 kN/m ²)
Inclinação máxima admitida	100% (recomendada: 70%)	20%	5%
Acessibilidade	Não pisoteável a não ser para manutenção	Pisoteável, mas com uso moderado	Geralmente sem limitações de uso

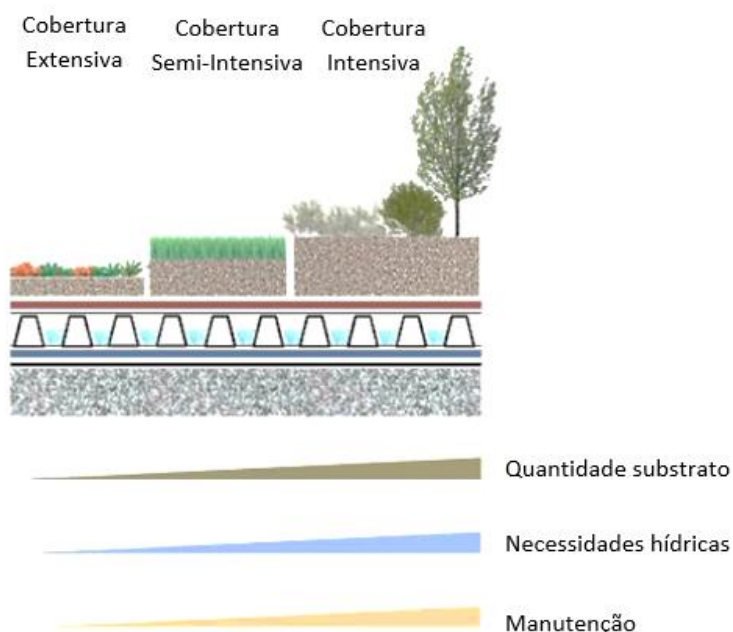


Figura 2.5: Comparação de Tipologias das Coberturas Verdes (adaptada de Pinto, 2014).

Coberturas extensivas são frequentemente mais leves para a estrutura existente, com um custo de investimento mais baixo e exigem pouca manutenção. Contudo, apresentam uma menor diversidade de plantas que podem ser utilizadas e tendem a ser menos esteticamente atraentes durante o inverno, devido à falta de vegetação. Por outro lado, coberturas do tipo intensivas suportam uma maior biodiversidade de espécies, são geralmente acessíveis como espaços de lazer, e contribuem significativamente para a estética da construção. Entretanto, essas características também as tornam mais pesadas para a estrutura, com uma alta necessidade de manutenção, exigência de mão de obra especializada e um custo elevado de implementação (Lourenço, 2014).

As CV são soluções eficientes para atrasar os picos de fluxo do sistema, pois retém uma parte de água nos seus substratos e acabam liberando-a de forma gradual durante os períodos secos por evapotranspiração, o chamado efeito esponja (Calheiros & Stefanakis, 2021).

Para corroborar o que foi apresentado até agora, a revisão realizada por Brandão (2015) comparou o comportamento hidrológico das CV em relação aos telhados tradicionais, utilizando mais de 34 publicações. O estudo constatou que as coberturas sustentáveis são capazes de reter entre 34% e 50% das águas pluviais, demonstrando uma eficiência significativamente superior à dos telhados convencionais.

2.2.3.2. Pavimentos permeáveis

Conforme Fini et al. (2017), as superfícies pavimentadas podem corresponder a até 67% do território urbano, o que destaca a importância de adotar medidas para aumentar a permeabilidade dessas áreas. Nesse contexto, os pavimentos permeáveis têm alcançado destaque no planejamento urbano, pois esse tipo de SUDS oferece suporte adequado para o tráfego de pessoas e veículos, permitindo simultaneamente a infiltração da água da chuva pela superfície até as camadas subjacentes. Como resultado, esses materiais têm sido amplamente aplicados em estradas urbanas, praças, estacionamentos e outras superfícies de solo, atuando como uma medida importante para prevenir inundações urbanas e mitigar o efeito de ilha de calor (Zhou et al., 2024).

Além disso, os materiais e superfícies permeáveis ajudam a reduzir os custos de tratamento de água, melhoram a resistência à derrapagem, diminuem os riscos de inundação e erosão hídrica, e auxiliam na reposição das águas subterrâneas. Ademais, eles contribuem para a redução da temperatura ambiente nos grandes centros urbanos, já que esses materiais costumam absorver menos calor do que os convencionais, como o asfalto (European Commission, 2012).

Esse tipo de material deve ser adaptado especificamente a cada local para garantir um desempenho eficaz. Além disso, os pavimentos permeáveis são geralmente compostos por uma camada superior, que pode ter uma superfície modular ou porosa. Em seguida, há uma camada que atua como filtro para a água, frequentemente composta por areia, seguida de uma sub-base, geralmente constituída de brita, que permite o armazenamento

temporário da água. Ademais, um geotêxtil pode ser utilizado para filtrar novamente a água e separar as camadas, conforme ilustrado na Figura 2.6 (EPA, 2000).

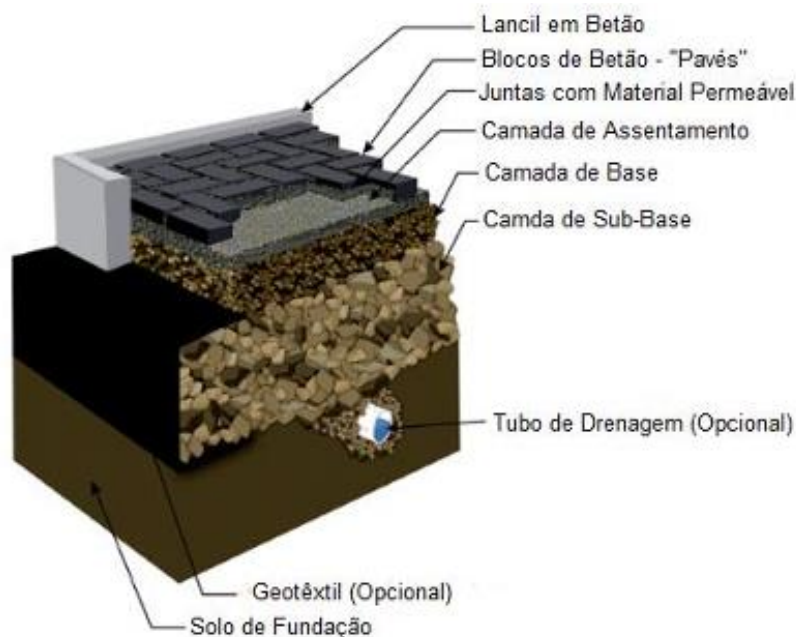


Figura 2.6: Seção transversal típica de um pavimento permeável (Lourenço, 2014).

A escolha dos materiais a serem utilizados, deve considerar o contexto e os requisitos de desempenho desejados. Por exemplo, blocos são frequentemente utilizados em meios distintos devido ao seu baixo custo, enquanto pavimentos permeáveis de betão poroso, que apresentam baixa resistência à fadiga, são adequados para vias com baixo fluxo (Zhou et al., 2024). Pavimentos asfálticos porosos oferecem resistência ao deslizamento e são adequados para estradas com um tráfego médio, mas exigem limpeza regular devido ao risco de obstrução após cerca de três anos (Kia et al., 2017). Além disso, grelhas de enlramento, que podem ser feitas de plástico ou betão, são uma excelente solução para estacionamento ou parques, pois também contribuem para a estética do local. A Tabela 2.3, apresenta a classificação dos principais tipos de pavimentos permeáveis com relação nos seus materiais.

Tabela 2.3: Classificação com base nos materiais do pavimento (adaptado de Zhou et al., 2024).

Nome do pavimento	Materiais	Nível de Aplicação	Principal local de utilização
Blocos	Blocos feitos de pedras, cerâmica ou betão	Alto	Estacionamentos, ciclovias, calçadas e vias de baixo fluxo
Betão poroso	Cimento, areia e cascalho, misturados na forma de concreto	Alto	Vias com baixo fluxo
Asfalto poroso	Asfalto e materiais de pedra	Alto	Todos os usos, preferencialmente para vias de fluxo leve ou médio
Grelhas de enrelvamento	Plástico ou concreto em formatos distintos, normalmente preenchidos com terra e grama	Alto	Estacionamentos, praças, via de pedestres
Resina permeável	Uma mistura de resinas com boa permeabilidade, como resina epóxi e poliuretano com materiais granulares	Moderado	Parques
Plástico permeável	Plásticos permeáveis como polietileno, polipropileno ou terpolímero de etileno-propileno	Moderado	Campos esportivos, parques

Além disso, o manual da Comissão Europeia: Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos (Figura 2.7), apresenta um comparativo entre alguns tipos de pavimentos permeáveis.

	Peões	Parque de estacionamento, veículos pequenos	Parque de estacionamento, veículos médios	Trafego rodoviário	Aspeto visual	Possibilidade de vegetação	Possibilidade de drenagem intensa	Materiais regionais	Melhoria do microclima	Grandes exigências de manutenção	Falta de conforto para caminhar	Inadequação para estacionamento de deficientes	Acumulação de lama	Formação de poeira	Superfície não impermeabilizada	Coefficiente de escoamento	Custos*: asfalto = 100%	
	Aplicação				Benefícios					Limitações								
Relva, solo arenoso					+++	+++	+++	+++	+++			++	++			100%	<0.1	<2%
Relva com grvilha	Y	Y	Y		++	++	++	+++	++	+	+	+				100%	0.1-0.3	50-60%
Grelhas de enrelvamento (plástico)	Y	Y			++	++	++	+	++	++	++	++	+			90%	0.3-0.5	75%
Grelhas de enrelvamento (concreto)	Y	Y	Y	Y	++	++	+	+++	++	++	++	++	+			40%	0.6-0.7	75-100%
Superfícies de macadame	Y	Y	Y		+		+	+++		++	+	+	++	++	50%	0.5	50%	
Pavimentos de concreto permeável	Y	Y	Y		+		+	+++	+	+					20%	0.5-0.6	100-125%	
Asfalto poroso	Y	Y	Y	Y			++								0%	0.5-0.7	100-125%	
Asfalto	Y	Y	Y	Y											0%	1.0	100%	

Figura 2.7: Comparação dos benefícios e limitações das superfícies permeáveis mais comuns em relação ao asfalto (European Commission, 2012).

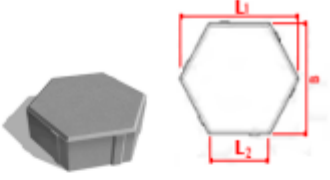
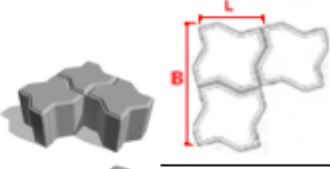

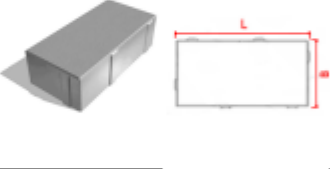
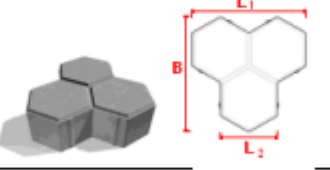
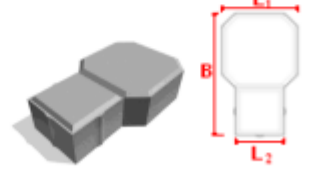
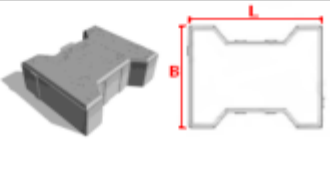
A presente dissertação focará apenas na aplicação de pavimento de bloco de betão permeável, asfalto poroso e grelhas de enrelvamento.

- **Bloco de betão permeável**

Os blocos de betão permeáveis são elementos pré-fabricados projetados para facilitar a infiltração de água, contribuindo significativamente para a gestão eficiente das águas pluviais e para a redução do escoamento superficial. Na instalação desses blocos, eles são posicionados de maneira a criar juntas, essenciais para permitir que a água se infiltre e seja direcionada para o reservatório subjacente do pavimento (Carvalho, 2015).

É importante destacar que a infiltração da água não acontece apenas através das juntas, mas também pode ocorrer através do próprio corpo do bloco, dependendo da porosidade e do tipo de material utilizado. Esta capacidade de infiltração é crucial para a eficácia dos pavimentos permeáveis, pois facilita o escoamento das águas pluviais e contribui para a durabilidade e funcionalidade do sistema (Lourenço, 2014).

Os blocos de betão permeáveis estão disponíveis em diversas geometrias e espessuras, conforme ilustrado na Figura 2.8, oferecendo uma ampla gama de arranjos e efeitos visuais, adaptando-se a diferentes tipos de aplicação.

Nome dos Blocos	Figura	Dimensões (mm)					Massa volúmica (kg/m ³)	Unidades por m ²
		L	L ₁	L ₂	B	e		
Hexagonais		-	195	97	170	55	120	38
"UNI-COLOC"		112,5	-	-	225	100	225	26
"Uni"		225	-	-	112,5	60	135	39
		-	-	80		175		
		-	-	100		225		
Rectangulares		100	-	-	200	55	130	50
		-	-	80		175		
"Delta"		-	200	100	200	60	135	38
"Uni-Decor"		-	140	90	230	60	130	36
Perfil "I"		200	-	-	165	60	135	35
		-	-	80		175		

e – espessura

Figura 2.8: Características geométricas de blocos para pavimentos (Morgado, 2008).

Uma das principais vantagens dos pavimentos feitos com blocos de betão é a facilidade de substituição. Caso algum bloco seja danificado, ele pode ser removido e substituído por outro de maneira simples e rápida. Além disso, a instalação desse material é relativamente fácil, não exigindo equipamentos especiais para a sua aplicação (Faustino, 2022).

De acordo com os resultados apresentados por Alam et al. (2019), blocos de betão permeáveis instalados sobre uma base de brita com 25 cm de espessura possuem um coeficiente de escoamento superficial de 0,2. No entanto, esse valor é variável dependendo dos materiais utilizados, da espessura das camadas e da qualidade da execução do pavimento. A variação mencionada é demonstrada no estudo de Li et al. (2022), que analisou o coeficiente de escoamento superficial para duas execuções distintas, considerando diferentes espessuras das camadas de assentamento, de base e sub-base, resultando em diferentes valores para esse coeficiente.

Contudo, devido à significativa redução no escoamento superficial proporcionada por esse tipo de pavimento, aliado ao seu baixo custo em comparação com outras medidas, é amplamente utilizado em ambientes urbanos, como estacionamentos, ciclovias, calçadas e vias de baixo tráfego.

Valores de coeficiente de escoamento entre 0,5 e 0,6 são apontados em Comissão Europeia (2012) para este tipo de pavimentos.

- **Asfalto poroso**

O asfalto poroso, também conhecido como asfalto permeável, é derivado do petróleo e utiliza técnicas de construção semelhantes às do asfalto convencional. Entretanto, nesse método, os agregados finos são peneirados e reduzidos, criando espaços vazios que conferem alta permeabilidade à água. A porcentagem de vazios no asfalto poroso varia entre 18% a 25%, (European Commission, 2012).

Essa elevada porosidade, contudo, acarreta uma capacidade de carga reduzida em comparação com os pavimentos tradicionais. Portanto, esse tipo de sistema não é amplamente recomendado para vias com alto volume de tráfego ou para locais que suportam veículos pesados, como ônibus e caminhões (Jabur et al., 2015). Devido a essas limitações, sua aplicação é mais adequada em estacionamentos, ciclovias, calçadas, áreas de tráfego leve ou médio, e em vias de novos loteamentos, onde a intensidade de carga é

menor e a gestão eficiente das águas pluviais é uma prioridade no planejamento urbano sustentável.

Este sistema de pavimentação consiste, fundamentalmente, em uma camada superficial de asfalto permeável, seguida por uma base composta por materiais de alta porosidade, como a brita. Adicionalmente, um tubo perfurado é instalado abaixo dessa estrutura, permitindo que a água infiltrada seja coletada e conduzida através do duto para o destino apropriado, seja este um curso de água natural ou uma unidade de armazenamento. Esta estrutura é ilustrada na Figura 2.9.

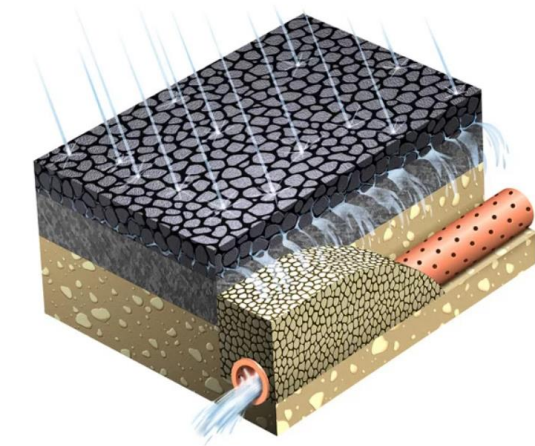


Figura 2.9: Sistema de asfalto permeável (Inovacivil, 2019).

O asfalto poroso, além de reduzir o escoamento superficial, diminui o ruído provocado pelo tráfego, aprimora a visibilidade das sinalizações viárias e aumenta a aderência dos pneus ao pavimento, minimizando o risco de aquaplanagem. Esse tipo de pavimento também armazena o excesso de água na camada granular, permitindo que o solo subjacente infiltre o volume acumulado de forma gradual, o que ajuda a reduzir os picos de caudal (Sequeira, 2018).

Segundo os estudos conduzidos por Castro et al. (2013), o asfalto poroso possui a capacidade de reduzir o volume de escoamento superficial em mais de 90%, variando de acordo com as espessuras das camadas, os materiais utilizados e a qualidade da execução do pavimento. Complementarmente, a pesquisa de Hou et al. (2020), analisa o desempenho do asfalto poroso com diferentes espessuras de camada de base, constatando que o coeficiente de escoamento diminui à medida que a espessura da camada de base aumenta.

No entanto, a manutenção desse tipo de pavimento requer atenção especial. Embora a revisão do asfalto poroso seja relativamente simples, é essencial que seja realizada periodicamente para evitar o acúmulo de detritos que possam obstruir os poros, o que comprometeria os níveis de permeabilidade do material. Além disso, pode ser necessário aplicar selantes para prolongar a vida útil do pavimento e preservar suas propriedades de drenagem (Castro et al., 2013).

Valores de coeficiente de escoamento entre 0,5 e 0,7 são apontados em Comissão Europeia (2012) para este tipo de pavimentos.

- **Grelhas de enrelvamento**

As grelhas de enrelvamento, também conhecidas como blocos de betão alveolares podem ser fabricadas em plástico, semelhantes aos relvados convencionais e de fácil instalação, ou em betão, sendo estas últimas mais estáveis e resistentes. No entanto, devido a essa maior resistência, as grelhas de betão apresentam custos mais elevados tanto de instalação quanto de manutenção (European Commission, 2012). As espessuras desse material variam entre 50 e 100 mm, dependendo da aplicação prevista. Ademais, os vazios nas grelhas podem ser preenchidos com relva, brita ou seixos, o que não apenas contribui para um efeito estético agradável, mas também facilita a drenagem das águas superficiais. Um exemplo de implantação desse tipo de estrutura pode ser visto na Figura 2.10.



Figura 2.10: Grelhas de enrelvamento, Macedo de Cavaleiros.

Esse material apresenta diversas vantagens, incluindo rápida e fácil instalação, melhoria estética do local, elevada resistência e alta permeabilidade que, conforme o fabricante, pode exceder 90%. A alta permeabilidade é comprovada pelos estudos de Alam et al. (2019), Castro et al. (2013) e Tucci et al. (2000), que analisam a taxa de infiltração e os coeficientes de escoamento de grelhas de enrelvamento com diferentes materiais e espessuras de base e sub-base, resultando em coeficientes de escoamento variando entre 0,12 e 0,3.

Além disso, esse tipo de material não contamina o lençol freático e suporta a circulação de veículos. As grelhas de enrelvamento podem ser aplicadas em:

- Passeios e logradouros;
- Parques de estacionamento;
- Arruamentos e estradas de baixo fluxo.

Valores de coeficiente de escoamento entre 0,3 e 0,5 (plástico) 0,6 e 0,7 (betão), são apontados em Comissão Europeia (2012) para este tipo de pavimentos.

Capítulo 3 - Materiais e métodos

3.1. Área de estudo

O loteamento urbano em análise situa-se na sub-região de Terras de Trás-os-Montes, no Nordeste de Portugal, e foi fornecido em formato CAD pelo gabinete Dolmu - Arquitetura | Engenharia. Com uma área total de 21.038,37 m² (demarcada pela linha em vermelho), o loteamento é composto por arruamentos (estradas, estacionamento e passeios), áreas verdes e lotes, que incluem tanto a área de implantação quanto o logradouro (Figura 3.1).

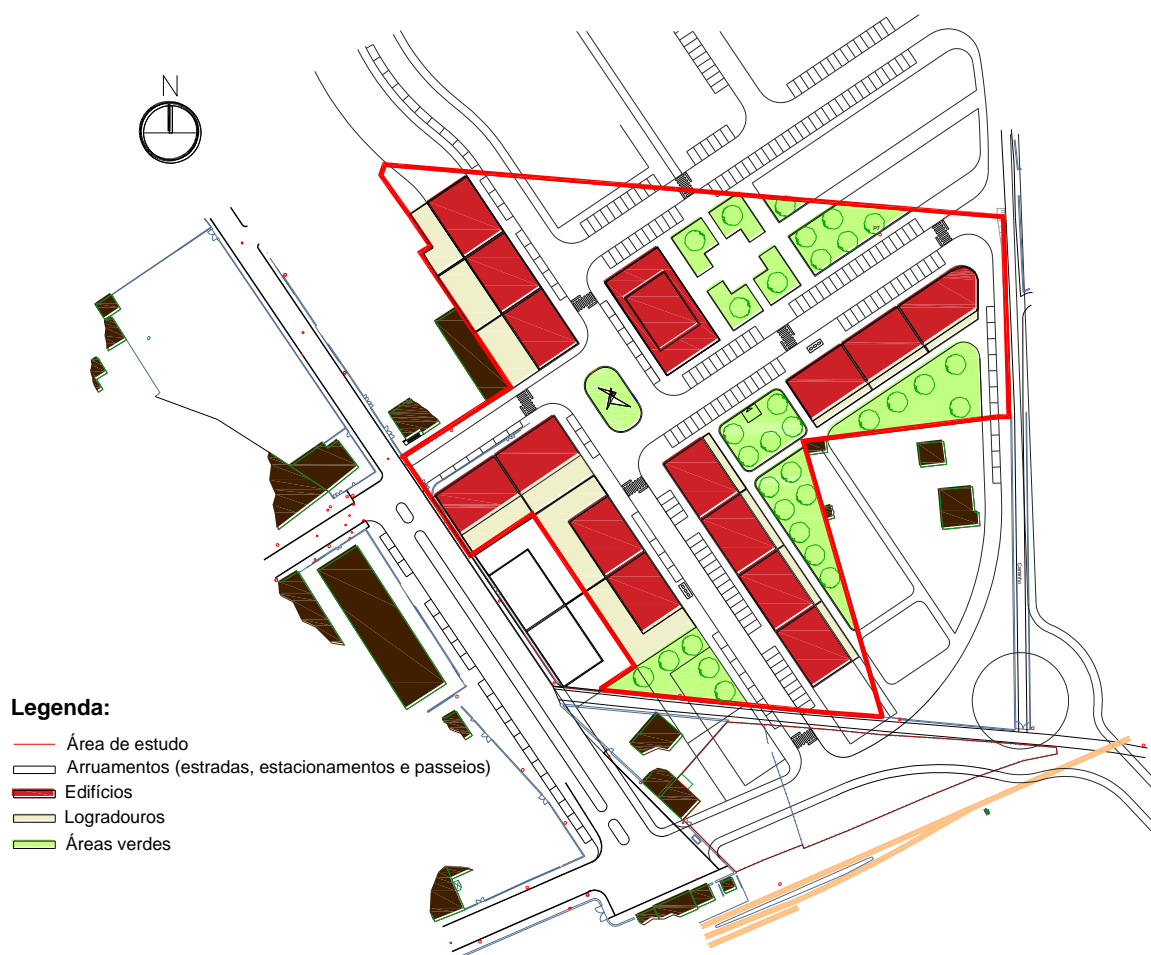


Figura 3.1: Vista geral do loteamento urbano (desenho sem escala).

3.2. Metodologia utilizada para o dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais

Conforme mencionado anteriormente, as redes de drenagem a serem implementadas em novos sistemas devem seguir o modelo separativo, o que foi considerado neste estudo. Além disso, a metodologia adotada foi a seguinte: (1) Cálculo do caudal de águas pluviais; (2) Determinação do tempo de concentração em sistemas de drenagem urbana; (3) Análise das regiões pluviométricas e dos parâmetros das curvas Intensidade-Duração-Frequência (I-D-F); (4) Estimativa do coeficiente de escoamento; (5) Dimensionamento hidráulico-sanitário do sistema público de drenagem de águas pluviais.

Ressalta-se que o traçado das redes de drenagem de águas pluviais e residuais foi fornecido pelo gabinete de projetos anteriormente mencionado, sendo realizados apenas alguns ajustes nas redes para garantir conformidade com os critérios regulamentares.

3.2.1. Caudal de águas pluviais

A determinação do caudal gerado pelas precipitações, comumente expressa em litros por segundo, depende de diversos fatores, como a área a ser drenada, a intensidade das chuvas, obtida a partir da análise dos dados pluviométricos e da frequência das precipitações intensas, além do coeficiente de escoamento (Marques & Sousa, 2018).

Conforme descrito pelos autores, o caudal é influenciado por aspectos como a rugosidade, a permeabilidade da superfície, a forma e extensão da bacia, a inclinação do terreno, a cobertura vegetal, bem como o estado de saturação do solo anterior à precipitação. As características da precipitação, incluindo sua intensidade, duração, frequência e variação espacial e temporal durante o evento, também impactam o caudal. Além disso, a relação entre áreas impermeabilizadas, como construções, e áreas permeáveis, como vegetação, terras cultivadas ou sistemas de drenagem urbana sustentáveis, exerce influência significativa sobre o caudal resultante.

O dimensionamento de uma canalização destinada a drenar uma bacia com área A depende diretamente da intensidade da precipitação e do coeficiente de escoamento C .

O cálculo do caudal pode ser realizado utilizando a Eq. 3.1, conhecida como fórmula ou método racional, aplicável a áreas menores que 15 km². Neste método, todas as condições do solo e as características de escoamento da bacia são representadas pelo coeficiente C , enquanto a intensidade da precipitação, I , considerada constante, é expressa como a média do valor observado durante o evento escolhido.

$$Q = C \times I \times A \quad \text{Eq. 3.1}$$

Sendo:

Q : Caudal (l/s)

C : Coeficiente de escoamento

I : Intensidade média de precipitação (mm/h)

A : Área da bacia (ha)

Vale ressaltar que as áreas a drenar foram medidas no desenho da rede pública de drenagem de águas pluviais disponibilizado para o estudo.

3.2.2. Tempo de Concentração

De acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, RGSPDADAR, o tempo de concentração é determinado pela soma do tempo de percurso com o tempo inicial. Esse tempo inicial pode variar de cinco minutos, em áreas inclinadas e com alta densidade de sarjetas, a quinze minutos, em áreas planas com menor densidade desses elementos acessórios.

Além disso, conforme descrito por Marques & Sousa (2018), o tempo de concentração é composto por duas parcelas: o tempo de entrada (t_{entrada}), que corresponde ao tempo que uma gota de água, após cair no ponto mais distante da bacia, leva para entrar no sistema de drenagem, e o tempo de percurso (t_{percurso}), que é o tempo que essa gota leva, após entrar no sistema de drenagem, para atingir a seção em análise.

Tratando-se de pequenas bacias urbanas, o tempo de entrada pode ser estimado de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Valores de referência para o tempo de entrada (Marques & Sousa, 2018).

Bacias urbanas	Muito inclinadas (> 8%)	Inclinadas (1,5% a 8%)	Médias a planas (< 1,5%)
Áreas impermeáveis > 50%	5 min	7,5 min	10 min
Áreas impermeáveis < 50%	5 min	10 min	15 min

O tempo de percurso de cada coletor pode ser determinado utilizando a Eq. 3.2, levando-se em conta as velocidades associadas aos respectivos caudais de ponta. Para o cálculo do tempo de concentração, deve-se somar os tempos de percurso de todos os coletores que compõem o trajeto, desde a cabeceira até o coletor em análise. Quando ocorre a confluência de dois ou mais coletores, o tempo de percurso considerado para o dimensionamento do coletor a jusante deve ser o maior entre os valores calculados.

$$t_c = \frac{L}{60 \times V} \quad \text{Eq. 3.2}$$

Sendo:

t_c : tempo de concentração (min)

L: comprimento da linha de águas com características homogêneas (m)

V: velocidade média do escoamento (m/s)

3.2.3. Regiões pluviométricas e parâmetros das curvas Intensidade-Duração-Frequência (I-D-F)

As curvas I-D-F que relacionam a intensidade de precipitação (I), a duração da precipitação (t_p) e o período de retorno (T_R), fornecem as intensidades médias máximas da precipitação para diferentes durações e períodos de retorno. No entanto, a elaboração dessas curvas para cada local específico de projeto é limitada, pois exige a análise de longos períodos de registros históricos de dados pluviométricos, os quais nem sempre estão disponíveis para todas as localidades. Como alternativa, costuma-se empregar curvas I-D-F regionalizadas, obtidas a partir de dados de estações meteorológicas próximas ou através de modelos matemáticos que consideram as condições locais. Essas curvas são, então, ajustadas de acordo com as características climáticas e geográficas da

região em análise, permitindo assim uma estimativa das intensidades de precipitação para o dimensionamento adequado dos sistemas de drenagem (Marques & Sousa, 2018).

Em Portugal, o Decreto Regulamentar n.º 23/95 no seu Anexo IX, classifica o território em três distintas regiões pluviométricas, para as quais foram desenvolvidas curvas I-D-F específicas. Essas curvas abrangem períodos de retorno que variam entre 2 e 100 anos. A divisão das três regiões pluviométricas mencionadas encontra-se representada na Figura 3.2.

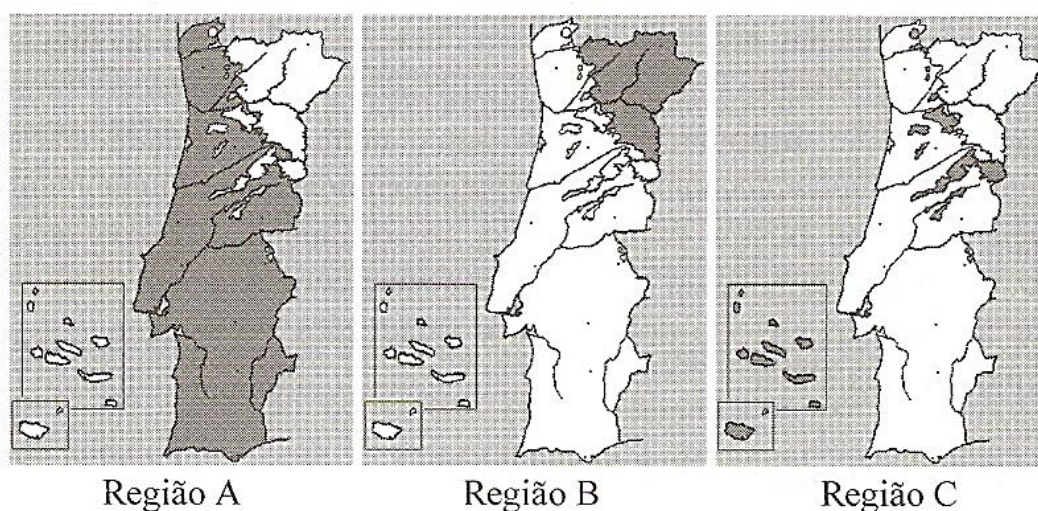


Figura 3.2: Regiões Pluviométricas (Marques & Sousa, 2018).

Nesse mapa, as regiões são divididas da seguinte forma:

- Região A – inclui as áreas não referidas em B e C;
- Região B – compreende os concelhos de Alfândega da Fé, Alijó, Almeida, Boticas, Bragança, Carrazeda de Ansiães, Chaves, Figueira de Castelo Rodrigo, Freixo de Espada À Cinta, Macedo de Cavaleiros, Meda, Mirando do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Murça, Penedono, Pinhel, Ribeira de Pena, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, São João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço, Torre de Moncorvo, Trancoso, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vila Nova de Foz Côa, Vila Real, Vimioso e Vinhais;
- Região C – compreende os concelhos das Regiões Autónomas dos Açores e Madeira, os seguintes concelhos do Continente: Guarda, Manteigas, Moimenta da Beira, Sabugal e Tarouca e as áreas situadas a uma altitude superior a 700 metros dos concelhos de Aguiar da Beira, Amarante, Arcos de Valdevez, Arganil,

Arouca, Castanheira de Pera, Castro Daire, Celorico da Beira, Cinfães, Covilhã, Fundão, Góis, Gouveia, Lamego, Marvão, Melgaço, Oleiros, Pampilhosa da Serra, Ponte da Barca, Resende, Seia, S. Pedro do Sul, Terras do Bouro, Tondela, Vale de Cambra, Vila Nova de Paiva e Vouzela.

A expressão utilizada em Portugal para traçar as curvas é a seguinte:

$$I = a \times t^b$$

Sendo:

I: intensidade de precipitação (mm/h)

t: tempo de precipitação (min)

Os parâmetros adimensionais a e b variam conforme a região pluviométrica e o período de retorno considerado. Esses valores estão detalhados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Parâmetros das curvas Intensidade-Duração-Frequência (Marques & Sousa, 2018)

Período de retorno T_R (anos)	Região A		Região B		Região C	
	a	b	a	b	a	b
2	202,72	-0,577	162,18	-0,577	243,26	-0,577
5	259,26	-0,562	207,41	-0,562	311,11	-0,562
10	290,68	-0,549	232,21	-0,549	348,82	-0,549
20	317,74	-0,538	254,19	-0,538	381,29	-0,538
50	349,54	-0,524	279,63	-0,524	419,45	-0,524
100	365,62	-0,508	292,50	-0,508	438,75	-0,508

3.2.4. Coeficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento é um parâmetro essencial que reflete a influência de diversos fatores que afetam o escoamento superficial, conforme destacado por Marques & Sousa (2018). Esse coeficiente é determinado com base no tipo e nas características da superfície do terreno, sendo considerado constante ao longo de uma precipitação específica e para cada sub-bacia.

No entanto, é importante destacar que o coeficiente utilizado na fórmula racional não corresponde exatamente ao coeficiente de escoamento, que é a relação entre os

volumes de escoamento e a precipitação que o gera. Na verdade, o coeficiente empregado na fórmula racional busca representar os efeitos da retenção superficial, da infiltração e do armazenamento sobre o caudal de ponta de cheia. Portanto, ele é influenciado não apenas pelas características do solo, mas também pelo tipo de ocupação do terreno e pelo período de retorno considerado.

Essas considerações sublinham a importância de uma correta escolha do coeficiente de escoamento, que deve ser adaptado às condições específicas da área em estudo para garantir a precisão no dimensionamento dos sistemas de drenagem. Além disso, se a área considerada é constituída por superfícies de várias naturezas pode fazer-se uma média ponderada dos valores indicados na Tabela 3.3, utilizando da Eq. 3.3.

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^N S_i \times C_i}{\sum_{i=1}^N S_i} \quad \text{Eq. 3.3}$$

Sendo:

S_i : superfície da área i (m^2)

C_i : coeficiente de escoamento da área i

C_m : coeficiente de escoamento médio ponderado

Tabela 3.3: Valores médios do coeficiente de escoamento (Marques & Sousa, 2018).

Ocupação do solo	C
Zonas verdes:	
- baldios	0,1 – 0,3
- relvados	0,05 – 0,20
- relvados em solos arenosos	0,15 – 0,35
- campos desportivos	0,20 – 0,35
Zonas comerciais:	
- centro da cidade	0,70 – 0,95
- periferia	0,50 – 0,70
Zonas residenciais:	
- habitações individuais no centro da cidade	0,30 – 0,50
- habitações individuais na periferia	0,25 – 0,40
- habitações coletivas	0,50 – 0,70
- telhados e coberturas	0,75 – 0,95
Zonas industriais:	
- dispersa	0,50 – 0,80

Ocupação do solo	C
- concentrada	0,60 – 0,90
Vias de comunicação:	
- asfaltadas	0,70 – 0,90
- de betão	0,80 – 0,95
- passeios	0,75 – 0,85

O coeficiente de escoamento, representado por C, é influenciado pela altura da precipitação, sendo que, no caso de coberturas verdes, também depende das características específicas dessas coberturas, além das condições climáticas anteriores, como as temperaturas registradas. A Especificação Técnica ANQIP ETA 0701:2024, versão 12, elaborada pela Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP), fornece valores específicos para esse coeficiente em diferentes tipos de coberturas, conforme ilustrado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Valores recomendados para o coeficiente de escoamento C (adaptada de ETA ANQIP 0701:2024)

Tipo de cobertura	Valor médio de C a considerar para a Pluviosidade anual
Coberturas inclinadas impermeáveis e lisas (telha cerâmica, chapa metálica, entre outras)	0,90
Coberturas inclinadas impermeáveis e rugosas (telas de betão, entre outras)	0,80
Coberturas planas sem inertes de proteção	0,80
Coberturas planas com inertes de proteção (areão, godo, entre outros)	0,70
Coberturas verdes intensivas, sem rega (espessura $e > 150$ mm)	0,30
Coberturas verdes extensivas, sem rega (espessura $e \leq 150$ mm)	0,50

Para os pavimentos permeáveis, o coeficiente de escoamento também é altamente dependente das características específicas do material e das condições ambientais. Fatores como o tipo de pavimento permeável, a granulometria dos materiais constituintes, a capacidade de infiltração do solo subjacente, a espessura das camadas de base e sub-base e a manutenção regular da superfície, a fim de prevenir obstruções, são determinantes

para a variação desse coeficiente. Assim, o valor do coeficiente de escoamento pode apresentar diferenças substanciais dependendo dessas variáveis específicas.

Com base nos experimentos conduzidos por Li et al. (2022), Hou et al. (2020), Alam et al. (2019), Castro et al. (2013) e Tucci et al. (2000), foram estabelecidos coeficientes de escoamento para alguns casos, os valores determinados para esses coeficientes estão apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Valores para o coeficiente de escoamento C obtidos em diversos estudos.

Tipo de pavimento permeável	Valor médio de C	Autor
Asfalto poroso com espessura de 7 cm (base de brita com 25 cm de espessura)	0,04	Castro et al. (2013)
Asfalto poroso com espessura de 5 cm (base de brita com 25 cm de espessura e sub-base de areia média com 63 cm)	0,05	Hou et al. (2020)
Asfalto poroso com espessura de 5 cm (base de brita com 15 cm de espessura e sub-base de areia média com 73 cm)	0,19	Hou et al. (2020)
Bloco de betão permeável (camada de assentamento de brita fina com 5 cm de espessura, base de brita com 10 cm e sub-base de brita grossa com 20 cm)	0,04	Li et al. (2022)
Bloco de betão permeável (camada de assentamento de brita fina com 7 cm de espessura, base de brita com 15 cm e sub-base de brita grossa com 35 cm)	0,05	Li et al. (2022)
Bloco de betão permeável (base de brita com 25 cm de espessura)	0,20	Alam et al. (2019)
Grelhas de enrelvamento (base de areia média com 10 cm de espessura e sub-base de brita com 15 cm)	0,03	Tucci et al. (2000)
Grelhas de enrelvamento (base de areia grossa com 5 cm de espessura, sub-base de brita com 25 cm)	0,04	Castro et al. (2013)
Grelhas de enrelvamento (base de brita com 46 cm de espessura)	0,12	Alam et al. (2019)

Esses estudos apresentam o coeficiente para um caso ideal, baseado em condições controladas e execução de alta qualidade. No entanto, para o dimensionamento de sistemas de drenagem, é recomendável utilizar um coeficiente um pouco mais elevado, a fim de garantir uma margem de segurança. Esse ajuste considera fatores como variações nos materiais, possíveis falhas na execução e o desgaste do pavimento ao longo do tempo, assegurando a eficiência do sistema mesmo sob condições adversas ou extremas.

Assim, os coeficientes de escoamento contidos no manual da Comissão Europeia: “Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos”, previamente citado, são mais condizentes com a realidade,

com o objetivo de fornecer uma margem de segurança ao dimensionamento, como demonstrado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Valores recomendados para o coeficiente de escoamento C (Manual da Comissão Europeia: Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos).

Tipo de pavimento	Valor médio de C
Relva, solo arenoso	0,1
Relva com gravilha	0,1 - 0,3
Grelhas de Enrelvamento (plástico)	0,3 - 0,5
Grelhas de Enrelvamento (betão)	0,6 - 0,7
Superfícies de macadame	0,5
Pavimentos de betão permeável	0,5 - 0,6
Asfalto poroso	0,5 - 0,7

3.2.5. Dimensionamento hidráulico-sanitário

Após a quantificação do caudal de ponta, o dimensionamento do coletor deve ser realizado de modo a garantir sua capacidade de escoar adequadamente esse volume de água. Além disso, é fundamental verificar as condições de autolimpeza, geralmente estabelecidas para um caudal correspondente a cerca de um terço do caudal de ponta. As normas estabelecidas pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95 para o dimensionamento de sistemas públicos de drenagem de águas pluviais, como também descritas por Marques e Sousa (2018), devem ser seguidas rigorosamente para assegurar a eficiência e a conformidade do projeto.

A seguir, são apresentadas as principais condições regulamentares a serem consideradas:

- **Velocidade máxima**

A velocidade máxima de escoamento permitida ($V_{\text{máxR}}$) nos coletores de águas pluviais é de 5 m/s, para evitar danos como erosão dos coletores e das câmaras de visita.

- **Velocidade mínima**

A velocidade mínima de escoamento ($V_{\text{mínR}}$) é fixada em 0,9 m/s. Velocidades inferiores podem comprometer a capacidade de autolimpeza do sistema, resultando no depósito de partículas sólidas no fundo dos coletores, o que prejudica o funcionamento da rede.

- **Diâmetro mínimo**

Para prevenir obstruções nos coletores, o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR) estabelece um diâmetro nominal mínimo ($D_{\text{mínR}}$) de 200 mm.

- **Tensão crítica de arrastamento**

Devido aos fluidos e materiais sólidos transportados, adota-se um valor mínimo de tensão crítica de arrastamento de 4 N/m² em coletores de águas pluviais.

- **Altura máxima**

O escoamento nos sistemas de drenagem deve ocorrer em superfície livre, sem que os coletores entrem em carga. Portanto, a altura da lâmina líquida não deve exceder o diâmetro do coletor.

- **Inclinação máxima**

A inclinação dos coletores deve ser limitada a 15% ($i_{\text{máxR}}$) para evitar o escorregamento dos mesmos, o que poderia resultar na abertura das juntas de ligação e na perda da estanqueidade da rede.

- **Inclinação mínima**

É estabelecido um valor mínimo de inclinação de 0,3% ($i_{\text{mínR}}$), para evitar situações onde os coletores possam apresentar uma inclinação horizontal ou contrária ao sentido do escoamento após sua implantação.

- **Leis de resistência**

Na análise do comportamento hidráulico de escoamentos em superfície livre, uma abordagem amplamente utilizada é a aplicação da Equação 3.4, conhecida como equação

de Manning-Strickler. Essa equação desempenha um papel crucial na garantia da eficácia dos sistemas de drenagem.

$$Q = A_m \times K_s \times R_h^{2/3} \times i^{1/2} \quad \text{Eq. 3.4}$$

Sendo:

Q: caudal (m³/s)

A_m: área da secção do escoamento ou área molhada (m²)

K_s: coeficiente de rugosidade (m^{1/3}/s)

R_h: raio hidráulico (m)

i: inclinação do coletor (m/m)

O coeficiente de rugosidade é determinado com base no material utilizado na tubulação e influenciado por fatores como a espessura, textura superficial e o tipo de corrugação. Esse coeficiente é obtido por meio de testes laboratoriais ou simulações numéricas. No presente estudo, optou-se pela utilização de tubulação em polipropileno corrugado, material cujo coeficiente de rugosidade pode variar conforme o tipo de corrugação.

Para o coeficiente de rugosidade de Manning, será adotado o valor de 110 m^{1/3}/s, para o material polipropileno corrugado (PP).

Como se trata de um escoamento de superfície livre, onde nem toda a secção do coletor é preenchida, se faz necessário calcular os seguintes parâmetros:

- **Altura do escoamento:**

$$h = \frac{D}{2} \times \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right) \quad \text{Eq. 3.5}$$

- **Área molhada:**

$$A_m = \frac{D^2}{8} \times (\theta - \sin \theta) \quad \text{Eq. 3.6}$$

- **Perímetro molhado:**

$$P_m = \frac{D \times \theta}{2} \quad \text{Eq. 3.7}$$

- **Raio Hidráulico:**

O cálculo do raio hidráulico é obtido dividindo-se a área molhada pelo perímetro molhado, conforme descrito na Equação 3.8.

$$R_h = \frac{D \times (\theta - \sin \theta)}{4 \theta} \quad \text{Eq. 3.8}$$

Ao substituir as Equações 3.7 e 3.8 na fórmula de Manning-Strickler (Equação 3.4), obtém-se a Equação 3.11, a qual é aplicada para calcular o caudal escoado. Além disso, ao dividir essa equação pela área molhada, chega-se à Equação 3.14, que permite determinar a velocidade do escoamento.

$$Q = A_m \times K_s \times R_h^{2/3} \times i^{1/2} \quad \text{Eq. 3.9}$$

$$Q = \left(\frac{D^2}{8} \times (\theta - \sin \theta)\right) \times K_s \times \left(\frac{D \cdot (\theta - \sin \theta)}{4 \theta}\right)^{2/3} \times i^{1/2} \quad \text{Eq. 3.10}$$

$$Q = \frac{K_s}{20.159} \times D^{8/3} \times \frac{(\theta - \sin \theta)^{5/3}}{\theta^{2/3}} \times i^{1/2} \quad \text{Eq. 3.11}$$

$$V = \frac{Q}{A_m} \quad \text{Eq. 3.12}$$

$$V = \frac{\frac{K_s}{20.159} \times D^{8/3} \times \frac{(\theta - \sin \theta)^{5/3}}{\theta^{2/3}} \times i^{1/2}}{\frac{D^2}{8} \times (\theta - \sin \theta)} \quad \text{Eq. 3.13}$$

$$V = \frac{K_s}{2.52} \times D^{2/3} \times \left(\frac{\theta - \sin \theta}{\theta} \right)^{2/3} \times i^{1/2} \quad \text{Eq. 3.14}$$

3.2.6. Verificação das imposições regulamentares

A altura máxima da lâmina líquida de acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95 é determinada pela Equação 3.15:

$$\frac{h}{D} \leq a \quad \text{Eq. 3.15}$$

No caso de coletores pluviais, a constante **a** leva o valor de 1. Esta condição conjugada com a Eq. 3.4 resulta na Eq. 3.16:

$$\theta \leq 2\arccos(1 - 2a) \quad \text{Eq. 3.16}$$

Assim, o diâmetro mínimo para a velocidade máxima e o diâmetro mínimo para a inclinação máxima podem ser determinados a partir das Equações 3.17 e 3.18, respectivamente, associadas à condição de diâmetro mínimo ($D_{\min R}$). Aqui, o ângulo θ toma o valor determinado pela Equação 3.16:

$$D \geq \sqrt{\frac{8 Q_{\max}}{V_{\max R} \times (\theta - \sin \theta)}} \quad \text{Eq. 3.17}$$

$$D \geq \left(\frac{20,159 Q_{\max}}{K_s \times \sqrt{i_{\max R}}} \right)^{3/8} \times \frac{\theta^{1/4}}{(\theta - \sin \theta)^{5/8}} \quad \text{Eq. 3.18}$$

Após determinar o diâmetro adequado de acordo com os critérios regulamentares previamente discutidos, torna-se possível definir um intervalo de inclinações que garanta o cumprimento automático das normas estabelecidas. Em relação ao critério da altura máxima da lâmina líquida, estabelece-se uma condição para a inclinação mínima (Eq. 3.19), onde o ângulo θ é calculado conforme a Eq. 3.16.

$$i_{\text{mính}} = \left(\frac{20,159 Q_{\text{máx}}}{K_s \times D^{8/3}} \cdot \frac{\theta^{2/3}}{(\theta - \sin \theta)^{5/3}} \right)^2 \quad \text{Eq. 3.19}$$

Por outro lado, utilizando o critério de velocidade mínima é estabelecida outra condição de inclinação mínima (Eq. 3.20), onde o valor de θ é obtido pela Eq. 3.21. Além disso, o critério de velocidade máxima exige a definição de uma inclinação máxima (Eq. 3.22), com o valor de θ derivado da Equação 3.23.

$$i_{\text{mínv}} = \left(\frac{20,159 Q_{\text{al}}}{K_s D^{8/3}} \times \frac{\theta^{2/3}}{(\theta - \sin \theta)^{5/3}} \right)^2 \quad \text{Eq. 3.20}$$

$$(\theta - \sin \theta) = \frac{8 Q_{\text{al}}}{D^2 \times V_{\text{mínR}}} \quad \text{Eq. 3.21}$$

$$i_{\text{máxv}} = \left(\frac{20,159 Q_{\text{máx}}}{K_s \times D^{8/3}} \times \frac{\theta^{2/3}}{(\theta - \sin \theta)^{5/3}} \right)^2 \quad \text{Eq. 3.22}$$

$$(\theta - \sin \theta) = \frac{8 Q_{\text{máx}}}{D^2 \times V_{\text{máxR}}} \quad \text{Eq. 3.23}$$

Com base nas condições referidas, definem-se as inclinações mínima e máxima a que o coletor poderá ser colocado:

$$i_{\text{mín}} = \text{Máx} (i_{\text{mính}}; i_{\text{mínv}}; i_{\text{mínR}}); \quad i_{\text{máx}} = \text{Mín} (i_{\text{máxv}}; i_{\text{máxR}})$$

Dessa forma, desde que se adote para os coletores uma inclinação que cumpra a condição seguinte, garante-se que todos os critérios regulamentares são cumpridos.

$$i_{\text{mín}} \leq i_{\text{col}} \leq i_{\text{máx}}$$

3.2.7. Implantação dos coletores

Quanto à implantação dos coletores, podem ser identificadas três diferentes situações a serem consideradas.

- **O recobrimento mínimo a jusante é alcançado**

Para que essa situação seja caracterizada, é necessário atender a duas condições específicas, a saber:

$$R_{\text{mín mont}} + L \times (i_{\text{mín}} - i_{\text{terreno}}) \leq R_{\text{mín jus}}$$

$$R_{\text{mín mont}} + L \times (i_{\text{máx}} - i_{\text{terreno}}) \geq R_{\text{mín jus}}$$

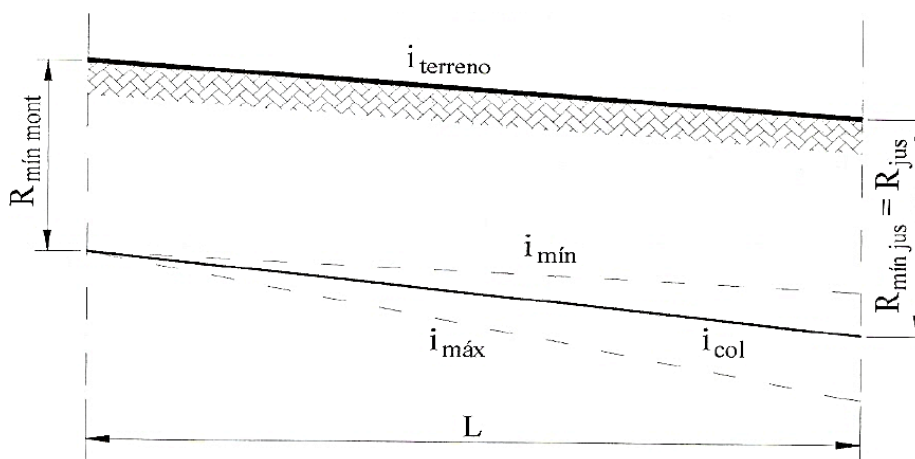


Figura 3.3: Terreno inclinado - atinge-se o recobrimento mínimo a jusante (Marques & Sousa, 2018).

Nessa situação, tem-se a inclinação do coletor entre as inclinações mínima e máxima e os recobrimentos são:

$$i_{\text{mín}} \leq i_{\text{col}} \leq i_{\text{máx}}$$

$$i_{\text{col}} = \frac{R_{\text{mín jus}} - R_{\text{mín mont}}}{L} + i_{\text{terreno}}$$

$$R_{\text{mont}} = R_{\text{mín mont}}$$

$$R_{\text{jus}} = R_{\text{mín jus}}$$

- **O recobrimento mínimo a jusante não é alcançado**

A ausência de recobrimento mínimo a jusante ocorre quando a condição especificada abaixo é atendida, conforme ilustrado na Figura 3.4.

$$R_{\text{mín mont}} + L \times (i_{\text{mín}} - i_{\text{terreno}}) > R_{\text{mín jus}}$$

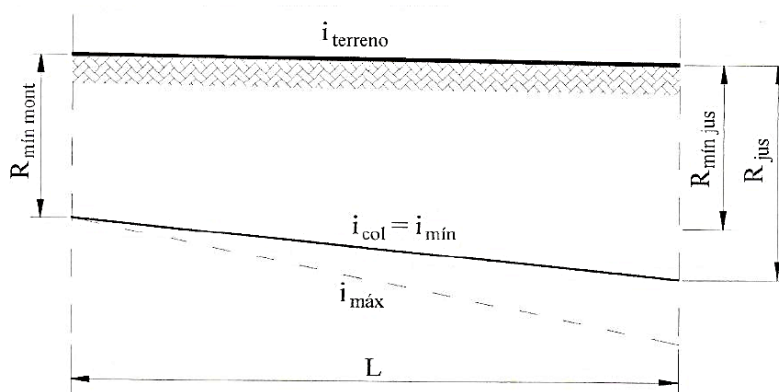


Figura 3.4: Terreno plano - não se atinge o recobrimento mínimo a jusante (Marques & Sousa, 2018).

Neste caso, tem-se a inclinação do coletor igual à inclinação mínima e os recobrimentos a montante e a jusante são:

$$\begin{aligned} i_{\text{col}} &= i_{\text{mín}} \\ R_{\text{mont}} &= R_{\text{mín mont}} \\ R_{\text{jus}} &= R_{\text{mín mont}} + L \times (i_{\text{mín}} - i_{\text{terreno}}) \end{aligned}$$

- **Queda a montante**

Essa situação é caracterizada por um desnível acentuado entre montante e jusante, atendendo à condição descrita e representada na Figura 3.5.

$$R_{\text{mín mont}} + L \times (i_{\text{máx}} - i_{\text{terreno}}) < R_{\text{mín jus}}$$

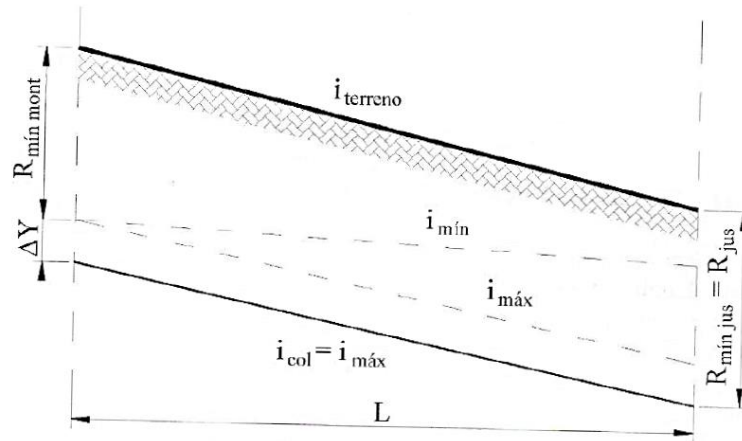


Figura 3.5: Terreno muito inclinado (Marques & Sousa, 2018).

O coletor deve ser implantado com a inclinação máxima:

$$i_{\text{col}} = i_{\text{máx}}$$

A queda na câmara de visita é dada por:

$$\Delta Y = R_{\text{mín jus}} - R_{\text{mín mont}} + L \cdot (i_{\text{terreno}} - i_{\text{máx}})$$

E os recobrimentos a montante e a jusante são:

$$R_{\text{mont}} = R_{\text{mín mont}} + \Delta Y$$

$$R_{\text{jus}} = R_{\text{mín jus}}$$

3.2.8. Profundidades e cotas de soleira nas câmaras de visita

Com base nos recobrimentos determinados, procede-se ao cálculo da profundidade da soleira (P_{sol}) e da cota da soleira (C_{sol}) em cada câmara de visita, conforme descrito a seguir e ilustrado na Figura 3.6:

$$P_{sol} = \text{Recobrimento} + \text{Espessura} + \text{Diâmetro interno}$$

$$C_{sol} = \text{Cota do terreno} - \text{Profundidade da soleira}$$

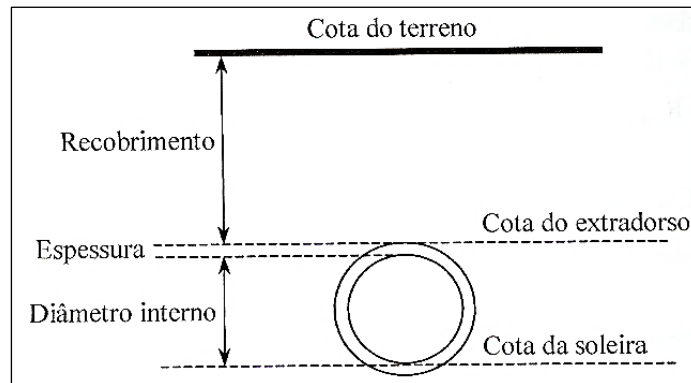


Figura 3.6: Implantação dos coletores (Marques & Sousa, 2018).


3.2.9. Condições de escoamento

A determinação do ângulo central da tubulação é realizada por meio de um processo iterativo que considera os valores de caudal, inclinação e diâmetro adotados. Esse procedimento permite obter dados essenciais sobre as condições de escoamento na rede, como a altura da lâmina líquida, área molhada, perímetro molhado, raio hidráulico, velocidade de escoamento e tempo de percurso. A equação que fundamenta esses cálculos é apresentada na Eq. 3.24.

$$\theta = \sin \theta + 6,063 \cdot \left(\frac{Q}{K_s \cdot \sqrt{i}} \right)^{0,6} \times D^{-1,6} \times \theta^{0,4} \quad \text{Eq. 3.24}$$


Os coletores serão em Polipropileno Corrugado (tubos coletores corrugados de dupla parede (C2), com os diâmetros da Figura 3.7, ou equivalente).

TUBOS COLECTORES C2 SN4 COM O-RING DURALIGHT EM EPDM
 COLLECTORS PIPES C2 SN4 WITH DURALIGHT EPDM SEALS . TUBES COLLECTEURS C2 SN4 AVEC JOINT DURALIGHT EN EPDM
 TUBOS COLECTORES C2 SN4 CON JUNTA DURALIGHT EN EPDM



Ø (mm)	di (mm)	ec (mm)	L2 (mm)	L (m)	Ø (m)	REF	€ (m)
125	108	9,3	55	6	6	204	12707001114 4,27 €
160	141	10,9	65	6	6	216	12707001116 5,10 €
200	177	12,5	78	6	6	120	12707001118 7,28 €
250	224	15,4	83	6	6	72	12707001120 11,91 €
315	275	20,5	112	6	6	54	12707001722 16,87 €
400	352	25,6	126	6	6	18	12707001723 29,26 €
500	443	31,1	176	6	6	12	12707001125 46,80 €
630	553	42,2	194	6	6	12	12707001726 66,45 €
800	703	52,6	240	6	6	12	12707001728 121,50 €

Os o-rings Duralight são fornecidos com estes tubos.
 Duralight seal rings are supplied with these pipes. Les joint Duralight sont fournies avec ces tubes. Las juntas Duralight son suministradas con estos tubos.



DRENAJE PLUVIAL PP PP DRAINAGE DRAINAGE PLUVIALE PP DRENAJE PLUVIAL PP

54 | WWW.GRUPOFERSIL.COM

Figura 3.7: Diâmetros de tubos coletores para drenagem pluvial (Fersil, s.d.)

3.3. Cenários de análise e orçamento

Foram definidos seis cenários distintos para a análise do dimensionamento da rede pública de drenagem de águas pluviais, descritos como segue:

- **Cenário 1:** Edifícios com coberturas inclinadas, impermeáveis e de superfícies lisas, além de arruamentos pavimentados de forma convencional;
- **Cenário 2:** Edifícios com coberturas inclinadas, impermeáveis e de superfícies lisas, além de estradas pavimentados em asfalto poroso, passeios em blocos de betão permeável e estacionamentos em grelhas de enrelvamento (betão);

- **Cenário 3:** Edifícios com coberturas planas com inertes de proteção, além de arruamentos pavimentados de forma convencional;
- **Cenário 4:** Edifícios com coberturas planas com inertes de proteção, além de estradas pavimentadas em asfalto poroso, passeios em blocos de betão permeável e estacionamentos em grelhas de enrelvamento (betão);
- **Cenário 5:** Edifícios com coberturas verdes extensivas, sem rega, além de estradas pavimentadas de maneira convencional;
- **Cenário 6:** Edifícios com coberturas verdes extensivas, sem rega, além de estradas pavimentadas em asfalto poroso, passeios em blocos de betão permeável e estacionamentos em grelhas de enrelvamento (betão).

Após o dimensionamento da rede para os seis cenários distintos, foi elaborada a estimativa orçamental para os seis cenários. Na formulação desses orçamentos, consideraram-se os valores vigentes na região em janeiro de 2025, referentes aos diversos tipos de serviços necessários à implementação dos sistemas. Esses serviços incluem a movimentação de terra, contemplando remoção, aterro, compactação e transporte; o fornecimento de tubulações e acessórios; os componentes da rede, como câmaras de visita e conexões com a rede existente; além de outros trabalhos, como sinalização e ensaios. Adicionalmente, foram consultados os preços dos diferentes diâmetros disponíveis para a tubulação de polipropileno corrugado, conforme especificado pelo fabricante.

Capítulo 4 - Resultados e discussão

4.1. Dimensionamento da rede pública de drenagem de águas pluviais

A área de estudo destinada ao dimensionamento dos cenários propostos está ilustrada na Figura 4.1. Com uma extensão total de 21.038,37 m², essa área é composta por diferentes superfícies, como estradas, passeios, estacionamentos, áreas verdes e lotes. As dimensões de cada superfície foram obtidas a partir de medições realizadas em planta, enquanto os coeficientes de escoamento correspondentes foram definidos de acordo com os critérios descritos no *Capítulo 3: Materiais e Métodos* e estão apresentados de forma detalhada na Tabela 4.1.

O traçado da rede pública de drenagem de águas pluviais projetada está destacado em azul, enquanto a rede de drenagem de águas residuais aparece em cinza. Essa representação evidencia que não há sobreposição entre as duas redes, garantindo a separação funcional necessária.

Tabela 4.1: Área das superfícies do loteamento e coeficiente de escoamento.

Superfície		Área (m ²)	Coeficiente de escoamento (C)
Arruamentos	Estradas	3.535,83	0,80 ⁽¹⁾ ; 0,60 ⁽²⁾
	Passeios	4.535,10	
	Estacionamentos	1.857,72	
Áreas verdes		3.428,55	0,20
Lotes	Área de implantação	5.769,85	0,90 ⁽³⁾ ; 0,70 ⁽⁴⁾ ; 0,50 ⁽⁵⁾
	Logradouro (50% de área pavimentada)	955,66	0,80
	Logradouro (50% de área verde)	955,66	0,20

⁽¹⁾ Arruamentos convencionais;

⁽²⁾ Arruamentos com critérios de sustentabilidade (estradas em asfalto poroso, passeios em blocos de betão permeável e estacionamentos em grelhas de enlramento - betão);

⁽³⁾ Coberturas inclinadas impermeáveis e lisas;

⁽⁴⁾ Coberturas planas com inertes de proteção;

⁽⁵⁾ Coberturas verdes extensivas, sem rega (espessura e ≤ 150 mm).

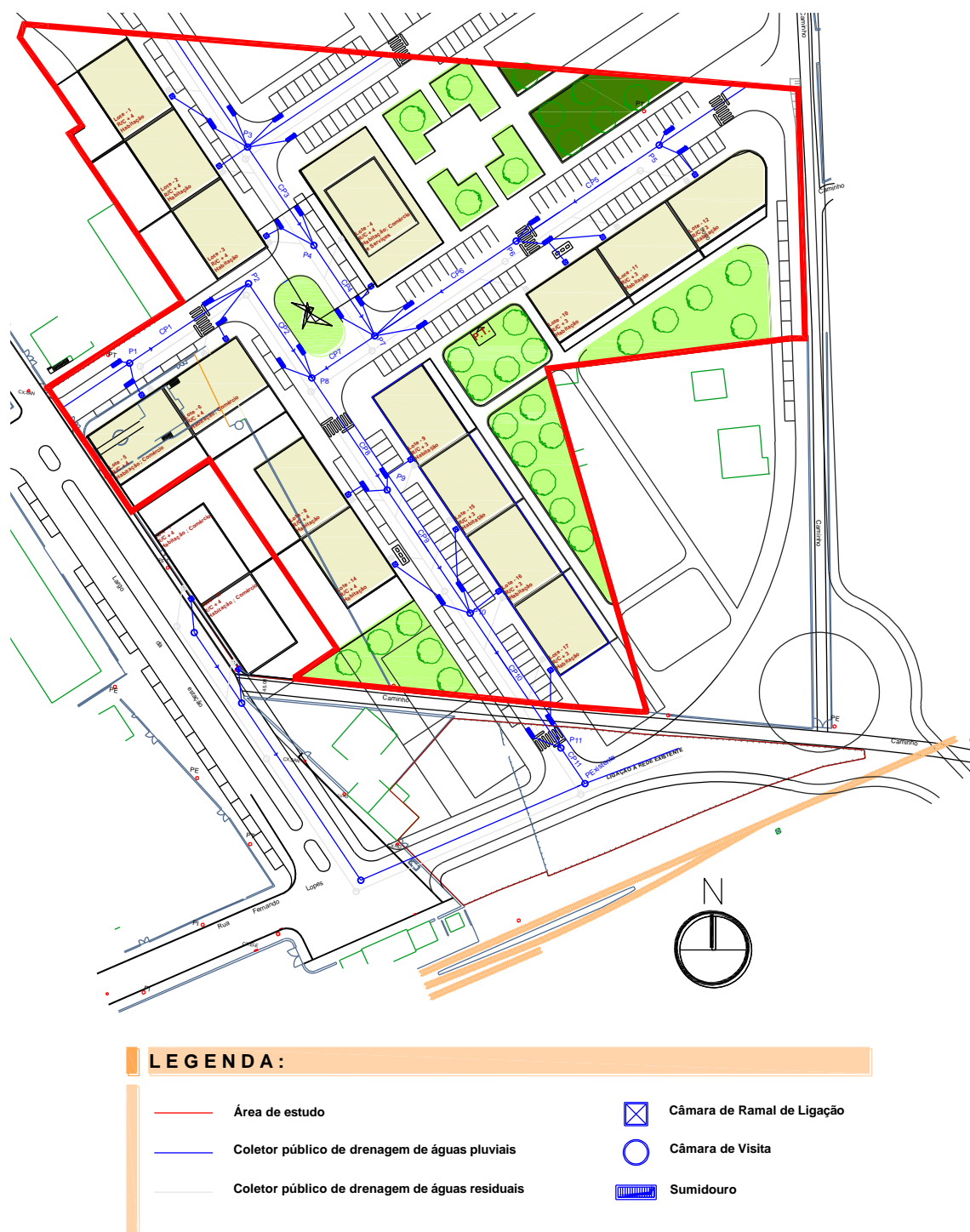


Figura 4.1: Traçado das redes públicas de drenagem de águas pluviais (azul) e residuais (cinzento) (desenho sem escala).

Com base nas proporções de cada tipo de superfície presente na área de estudo e nos coeficientes de escoamento correspondentes, foi calculado o coeficiente de escoamento médio ponderado (C_m). Os seis cenários propostos para a análise, juntamente com seus respectivos coeficientes de escoamento, estão resumidos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Cenários propostos para o dimensionamento.

Cenários	Critérios	Coefficiente de escoamento médio ponderado (C_m)
1	Coberturas inclinadas + arruamentos convencionais	0,70
2	Coberturas inclinadas + arruamentos mais sustentáveis (*)	0,61
3	Coberturas planas + arruamentos convencionais	0,65
4	Coberturas planas + arruamentos mais sustentáveis (*)	0,55
5	Coberturas verdes + arruamentos convencionais	0,59
6	Coberturas verdes + arruamentos mais sustentáveis (*)	0,50

(*) Estradas em asfalto poroso, passeios em betão permeável e estacionamento em grelhas de enlramento (betão).

A área de estudo caracteriza-se por uma bacia drenada com predomínio de superfícies impermeáveis, correspondendo a mais de 50% da área total, e inclinações que variam de 1,5% a 8%. Para o dimensionamento da rede de drenagem, foi adotado um período de retorno de 10 anos, de modo a equilibrar as características da bacia com o nível de risco considerado aceitável. A equação utilizada para as curvas de intensidade-duração-frequência (I-D-F), específica para a Região B, é descrita por $I = 232,21 \cdot t^{-0,549}$, conforme indicado na Tabela 3.2 do *Capítulo 3. Materiais e Métodos*. Além disso, foi estabelecido o tempo de entrada de água nos coletores como sendo 7,5 minutos.

A rede pública de drenagem de águas pluviais foi concebida a partir da representação esquemática na Figura 4.2, onde os coletores estão indicados por linhas e identificados como CP_i , enquanto as câmaras de visita são representadas por círculos e denominadas P_i . O projeto foi desenvolvido em conformidade com os critérios técnicos, garantindo um recobrimento mínimo de 1,00 m e uma profundidade máxima de 4,00 m.

No que se refere aos parâmetros hidráulicos, estipularam-se velocidades mínimas de 0,90 m/s e máximas de 5,00 m/s, com inclinações variando entre 0,3% e 15,0%. O cálculo inicial foi realizado a partir da determinação da área efetiva, obtida pela multiplicação da área drenada pelo coeficiente de escoamento médio ponderado (Tabela 4.3). Adicionalmente, foram calculados o tempo de concentração, que combina o tempo de entrada com o tempo de percurso, e a intensidade de precipitação, com base nos tempos de concentração obtidos e na equação I-D-F adotada (Tabela 4.4).

Tabela 4.3: Área efetiva para os 6 cenários.

Coletor	Área drenada (m ²)	Área efetiva (m ²)					
		Cenário					
		1	2	3	4	5	6
CP1	2712,31	1905,10	1649,09	1756,33	1500,32	1607,55	1351,55
CP2	3579,77	2514,39	2176,51	2318,04	1980,16	2121,69	1783,81
CP3	4789,24	3363,92	2911,88	3101,22	2649,19	2838,53	2386,49
CP4	5914,52	4154,30	3596,06	3829,89	3271,64	3505,47	2947,22
CP5	2854,01	2004,63	1735,25	1848,08	1578,71	1691,54	1422,16
CP6	5350,22	3757,94	3252,96	3464,48	2959,49	3171,02	2666,03
CP7	14069,89	9882,56	8554,56	9110,82	7782,82	8339,07	7011,07
CP8	18135,70	12738,35	11026,59	11743,59	10031,84	10748,84	9037,08
CP9	20340,43	14286,93	12367,08	13171,24	11251,39	12055,56	10135,70
CP10	22396,35	15730,99	13617,09	14502,53	12388,63	13274,08	11160,17
CP11	27038,37 ^(*)	18991,50	16439,45	17508,43	14956,38	16025,35	13473,31

⁽¹⁾ Cenário 1; ⁽²⁾ Cenário 2; ⁽³⁾ Cenário 3; ⁽⁴⁾ Cenário 4; ⁽⁵⁾ Cenário 5; ⁽⁶⁾ Cenário 6; ^(*) A área drenada pelo coletor CP11 é de 27.038,37 m², pelo facto de às câmaras de visita P1, P3 e P5, afluirem caudais provenientes de áreas com 2000 m² cada.

Tabela 4.4: Tempo de concentração e intensidade de precipitação para os 6 cenários.

Coletor	Tempo de concentração (min)						Intensidade de precipitação (mm/h)					
	Cenário						Cenário					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
CP1	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	76,82	76,82	76,82	76,82	76,82	76,82
CP2	7,77	7,78	7,78	7,79	7,78	7,79	75,33	75,29	75,31	75,26	75,28	75,22
CP3	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	76,82	76,82	76,82	76,82	76,82	76,82
CP4	7,62	7,62	7,62	7,62	7,62	7,63	76,16	76,14	76,15	76,13	76,14	76,11
CP5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	76,82	76,82	76,82	76,82	76,82	76,82
CP6	7,87	7,90	7,89	7,93	7,91	7,96	74,82	74,63	74,72	74,50	74,60	74,33
CP7	7,69	7,72	7,71	7,74	7,73	7,77	75,77	75,61	75,68	75,49	75,58	75,35
CP8	7,95	7,99	7,97	8,00	8,00	8,04	74,42	74,17	74,28	74,16	74,12	73,96
CP9	8,12	8,12	8,09	8,13	8,13	8,19	73,53	73,55	73,69	73,47	73,48	73,21
CP10	8,30	8,32	8,28	8,27	8,26	8,34	72,68	72,57	72,77	72,82	72,87	72,49
CP11	8,43	8,45	8,42	8,46	8,44	8,48	72,04	71,93	72,09	71,89	72,00	71,79

Com os valores obtidos de áreas efetivas e intensidades de precipitação, calcularam-se os caudais máximos utilizando o método racional ($Q = C \cdot I \cdot A$) e os caudais mínimos, correspondentes a 30% dos máximos, com um mínimo de 5 l/s. Em seguida, aplicou-se o procedimento descrito no *Capítulo 3. Materiais e métodos*, para dimensionar os diâmetros, inclinações, velocidades, alturas de escoamento (lâmina líquida), tensões de arrasto e tempos de percurso. Após a verificação de que todos os parâmetros atendiam aos requisitos regulamentares, realizou-se a implantação dos coletores, assegurando que o sistema projetado estivesse adequado às necessidades do local.

Os resultados obtidos para o cálculo hidráulico, elementos para implantação dos coletores e elementos para implantação das câmaras de visita são apresentados, respetivamente, no Anexo A: Tabelas A1, A2 e A3 (Cenário 1, edifícios com coberturas inclinadas impermeáveis e lisas e arruamentos convencionais, $C_m = 0,70$); Tabelas A4, A5 e A6 (Cenário 2, edifícios com coberturas inclinadas impermeáveis e lisas e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,61$) e Figura A1; Tabelas A7, A8 e A9 (Cenário 3, edifícios com coberturas planas com inertes de proteção e arruamentos convencionais ($C_m = 0,65$); Tabelas A10, A11 e A12 (Cenário 4, edifícios com coberturas planas com inertes de proteção e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,55$) e Figura A2; Tabelas A13, A14 e A15 (Cenário 5, edifícios com coberturas verdes extensivas, sem rega e arruamentos convencionais ($C_m = 0,59$) e Tabelas A16, A17 e A18 (Cenário 6, edifícios com coberturas verdes extensivas, sem rega e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,50$) e Figura A3.

Por observação da Tabela 4.3, referente ao cálculo da área efetiva e Tabela 4.4, referente ao tempo de concentração e intensidade de precipitação, verifica-se que a área drenada pelo coletor DP11 é de 27.038,37 m², pelo facto de às câmaras de visita D1, D3 e D5, afluírem caudais provenientes de áreas com 2000 m² cada.

Como previsto, as áreas efetivas diminuem em função da aplicação de um coeficiente de escoamento médio ponderado inferior (0,70, 0,61, 0,65, 0,55, 0,59 e 0,50 para os cenários 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respetivamente). Contudo, uma limitação deste estudo prende-se com a inexistência de um valor do coeficiente de escoamento para a região Nordeste de Portugal aplicado a coberturas verdes, o qual foi estipulado a partir da literatura. Esta informação poderá ser obtida através da realização de ensaios experimentais nesta região usando um protótipo de cobertura verde. Os estudos de

Pimentel-Rodrigues e Silva-Afonso (2019) e Monteiro e al. (2016) apresentam uma fórmula que pode ser útil para a determinação *in situ* do coeficiente de escoamento mensal em função de diferentes variáveis.

As Tabelas A1, A4, A7, A10, A13 e A16 mostram que o caudal de auto-limpeza mínimo de 5,0 l/s foi garantido em todos os cenários. Foram obtidos caudais máximos, no último coletor, de 380,06, 328,49, 350,62, 298,67, 320,53, 268,68 l/s para os cenários 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respetivamente. Tal como previsto, os caudais apresentam reduções, pelo facto de a área efetiva diminuir em função do tipo de pavimento e cobertura considerado em cada cenário (Tabela 4.5).

Tabela 4.5: Redução de caudal entre cenários.

Cenários	Crítérios	Redução de caudal máximo (%)
1	Coberturas inclinadas + arruamentos convencionais	13,57
2	Coberturas inclinadas + arruamentos mais sustentáveis (*)	
3	Coberturas planas + arruamentos convencionais	14,82
4	Coberturas planas + arruamentos mais sustentáveis (*)	
5	Coberturas verdes + arruamentos convencionais	16,18
6	Coberturas verdes + arruamentos mais sustentáveis (*)	

(*) Estradas em asfalto poroso, passeios em betão permeável e estacionamento em grelhas de enrelvamento (betão).

Contudo, uma redução de caudal máximo de 29,31%, é verificada entre o cenário 1 (edifícios com coberturas inclinadas impermeáveis e lisas e arruamentos convencionais, $C_m = 0,70$) e o cenário 6 (edifícios com coberturas verdes extensivas, sem rega e arruamentos mais sustentáveis, $C_m = 0,50$).

É um facto que os telhados convencionais permitem que a água da chuva escorra rapidamente das suas superfícies, agravando as inundações. Já os telhados verdes são considerados de maior importância, pois absorvem a água da chuva retardando o seu escoamento e promovem a evapotranspiração aumentando a eficácia da gestão de águas pluviais (Kader et al., 2022). Aqui se constata a capacidade de retenção hídrica das coberturas verdes (Palermo et al., 2019; Silva et al., 2021; Santos et al., 2023; Brandão et al., 2017) e também dos pavimentos mais permeáveis.

Como observado nas Tabelas A1, A4, A7, A10, A13 e A16, a velocidade mínima (0,9 m/s) e máxima (5,00 m/s) são verificadas, bem como a inclinação mínima (0,3%) e máxima (15,0%). As tensões de arrasto também cumpriram o critério de 4 N/m² no mínimo.

Para os seis cenários, até ao coletor CP6, o diâmetro é sempre o mesmo (Ø 200 mm). Há variação de diâmetros nos coletores CP7, CP8, CP9, CP10 e CP11, verificando-se uma diminuição de diâmetro para o caso das soluções mais sustentáveis. O valor de diâmetro máximo é de 500 mm no último coletor (cenários 1, 2, 3 e 5), diminuindo para 400 nos cenários 4 e 6. Em Xu et al. (2023) é referido que a solução para problemas de inundações tem sido aumentar predominantemente os diâmetros dos coletores para drenar as águas pluviais o mais rapidamente possível, podendo não ser a solução mais eficaz. Assim, para colmatar este problema, e como se constata nos cenários 2, 4 e 6, é plausível considerar a integração de soluções baseadas na natureza e pavimentos mais permeáveis a montante dos sistemas públicos de drenagem pluvial.

4.2. Análise de custos da rede pública de drenagem de águas pluviais

A estimativa de custos para a rede pública de drenagem de águas pluviais projectada é apresentada na Tabela 4.6. Os custos referem-se aos seguintes trabalhos:

1. Movimento de terras:

- (i) Escavação para abertura de valas para implantação de tubagem, incluindo entivação, rebaixamento do nível freático, se necessário, regularização e compactação do leito da vala e remoção dos produtos escavados;
- (ii) Regularização do fundo de valas com almofada de assentamento, numa espessura de 0,10 m, com terra cirandada, de empréstimo se necessário;
- (iii) Aterro com terra cirandada, de empréstimo se necessário, incluindo calque e recalque até 0,20 m acima do extradorso da tubagem;
- (iv) Aterro de valas com terra da própria vala isenta de pedras e raízes, ou de empréstimo se necessário, com calque e recalque, por camadas de 0,20 m de espessura, incluindo rega, para completo enchimento das valas;

- (v) Carga, transporte e descarga de produtos sobranes a local autorizado (Decreto-Lei n.º102-D/2020, de 10 de dezembro), considerando um empolamento de 20%.
2. **Tubagens e acessórios:** Fornecimento e assentamento de tubagem em Polipropileno Corrugado (Ø 200, Ø 250, Ø 315, Ø 400 e Ø 500 mm).
 3. **Órgãos da rede:** (i) Câmaras de visita; (ii) Sumidouros; (iii) Ramais domiciliários para drenagem de águas pluviais e (iv) Ligação da rede existente e reformulação da caixa na realização da ligação do novo colector a instalar.
 4. **Diversos:** (i) Fornecimento e colocação de telas de pré-sinalização com a inscrição “PLUVIAIS” e (ii) Realização de ensaios finais na rede de drenagem de águas residuais e pluviais.

Tabela 4.6: Resumo do orçamento para os 6 cenários.

Descrição dos trabalhos	Preço parcial (€)					
	Cenário					
	1	2	3	4	5	6
1. Movimento de terras	9687,62	8752,69	9041,29	8857,79	8482,15	7381,06
2. Tubagens e acessórios	9785,00	9448,00	8806,00	8769,50	8436,00	8364,50
3. Órgãos da rede	15100,00	15100,00	15100,00	15000,00	15000,00	15000,00
4. Diversos	1347,20	1347,20	1347,20	1347,20	1347,20	1347,20
Preço parcial (€)	35919,82	34647,89	34294,49	33974,49	33265,35	32092,76
Valor total (€ + VAT)	35919,82	34647,89	34294,49	33974,49	33265,35	32092,76

Face aos resultados obtidos e não sendo muito relevante a diferença de custos entre os cenários, a opção por soluções mais sustentáveis (cenário 6) pode ter efeitos positivos na gestão das águas pluviais urbanas, uma vez que se espera uma redução de 29,31% no caudal máximo, quando comparado com o cenário 1. No entanto, como no presente estudo o dimensionamento hidráulico da rede foi efetuado com base em alguns parâmetros teóricos, como o coeficiente de escoamento superficial, existe a necessidade de desenvolver um protótipo de cobertura verde para a região em estudo, de modo a recolher dados experimentais para a obtenção deste coeficiente, em função das características da cobertura verde, da temperatura do ar e da precipitação (Pimentel-Rodrigues e Silva-Afonso, 2019). Estes dados permitirão conhecer o desempenho

hidrológico da cobertura verde, validar e extrapolar os dados do presente estudo, quer hidráulicos, quer de custo, e incentivar os decisores políticos e outros intervenientes a definir orientações para a integração destas soluções baseadas na natureza a montante dos novos sistemas públicos de drenagem de águas pluviais. A promoção da sua implementação poderá contribuir, entre outros aspectos (Calheiros et al., 2022; Calheiros e Stefanakis, 2021), para a mitigação das inundações urbanas, que têm vindo a ocorrer com maior frequência, e para a redução dos custos económicos, ambientais e ambientais associados.

Capítulo 5 - Conclusões e proposta para trabalhos futuros

5.1. Conclusões

Diante dos desafios impostos pelas alterações climáticas e do crescimento urbano acelerado, torna-se essencial adotar estratégias eficazes para a gestão sustentável das águas pluviais. A impermeabilização excessiva do solo tem agravado os problemas relacionados ao escoamento superficial, aumentando a ocorrência de inundações e sobrecarregando as infraestruturas de drenagem convencionais. Nesse contexto, soluções baseadas na retenção e infiltração da água, como pavimentos permeáveis e coberturas verdes, representam alternativas resilientes para mitigar os impactos das precipitações intensas. Além de reduzirem os picos de cheia e melhorarem o desempenho dos sistemas de drenagem, essas soluções também promovem benefícios ambientais e sociais, como a ampliação da infraestrutura verde urbana e a melhoria da qualidade de vida nas cidades.

Para o loteamento urbano em estudo, com uma área aproximada de 2,1 ha e localizado na região pluviométrica B de Portugal, foram definidos e avaliados 6 cenários distintos para o dimensionamento de uma rede pública de drenagem de águas pluviais, com coeficientes de escoamento médios ponderados (C_m) diferentes para a área em estudo: (i) Cenário 1, edifícios com coberturas inclinadas e arruamentos convencionais, $C_m = 0,70$; (ii) Cenário 2, edifícios com coberturas inclinadas e arruamentos mais sustentáveis, $C_m = 0,61$; (iii) Cenário 3, edifícios com coberturas planas e arruamentos convencionais, $C_m = 0,65$; (iv) Cenário 4, edifícios com coberturas planas e arruamentos mais sustentáveis, $C_m = 0,55$; (v) Cenário 5, edifícios com coberturas verdes e arruamentos convencionais, $C_m = 0,59$ e (vi) Cenário 6, edifícios com coberturas verdes e arruamentos mais sustentáveis, $C_m = 0,50$.

No dimensionamento da rede pública de drenagem de águas pluviais, foram obtidos caudais máximos de 380,06, 328,49, 350,62, 298,67, 320,53, 268,68 l/s para os Cenários 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Observa-se que a redução do coeficiente médio ponderado de escoamento superficial (C_m) ao longo dos diferentes cenários resultou em uma diminuição progressiva dos caudais máximos. Essa tendência evidencia uma redução

de 29,31% no caudal máximo ao comparar o Cenário 1, correspondente à configuração convencional, com o Cenário 6, que representa a alternativa mais sustentável adotada no estudo.

Com base nos resultados obtidos, foi possível analisar a influência das coberturas verdes e dos pavimentos permeáveis não apenas na redução dos caudais máximos, mas também no dimensionamento da infraestrutura pública de drenagem de águas pluviais. Verificou-se que, para a região em estudo, a adoção de medidas sustentáveis permitiu a diminuição dos diâmetros dos coletores e das profundidades das soleiras em determinados trechos, quando comparado com os meios tradicionais. Essa redução impacta diretamente os custos de implantação da rede, tornando o sistema mais econômico e eficiente, além de proporcionar benefícios ambientais adicionais.

Ao avaliar os custos associados à implantação dos diferentes cenários analisados, observou-se que o cenário mais sustentável, com coberturas verdes e pavimentos permeáveis, apresentou um custo total de 32092,76 € + IVA, inferior ao cenário convencional com coberturas inclinadas e pavimentos convencionais, cujo custo foi de 35919,82 € + IVA. Esse resultado evidencia que a aplicação de soluções sustentáveis pode, além de reduzir o impacto hidrológico das áreas urbanas, representar uma alternativa economicamente viável.

Ressalta-se que os custos analisados estão em função do dimensionamento da rede pública de drenagem de águas pluviais, em linha com o objetivo inicial, não tendo sido considerados na comparação de custos, a implantação dos diferentes tipos de pavimentos e coberturas.

Deste estudo, conclui-se que a impermeabilização das superfícies exerce uma influência significativa no escoamento superficial das áreas urbanas, sendo diretamente afetada pelas características das infraestruturas adotadas. A substituição de estruturas convencionais por estruturas sustentáveis demonstrou impacto positivo no funcionamento do sistema público de drenagem de águas pluviais, evidenciando seu potencial como técnica de drenagem urbana sustentável. Além de contribuir para a redução do escoamento superficial e a mitigação de eventos extremos, essas soluções podem subsidiar diretrizes para a implementação de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS), auxiliando gestores públicos e profissionais da área no planejamento e adaptação das cidades aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

5.2. Proposta para trabalhos futuros

Este trabalho pode ser complementado no futuro, nomeadamente no que respeita aos seguintes aspetos:

- Execução de novo dimensionamento considerando outros cenários e até outros loteamentos urbanos com características diferentes;
- Realização de ensaios para a determinação do coeficiente de escoamento em função das características específicas da cobertura e dos pavimentos que serão estudados, permitindo um novo dimensionamento;
- Uma vez definidas as especificações técnicas dos pavimentos permeáveis e das coberturas verdes, incluindo as camadas estruturais, a tipologia de vegetação utilizada e demais aspectos construtivos, recomenda-se a realização de um estudo comparativo de custos em relação às soluções convencionais;
- Investigar a eficiência das soluções adotadas na retenção e redução de poluentes na água infiltrada, avaliando seus impactos na melhoria da qualidade da água e no reabastecimento dos aquíferos subterrâneos;
- Replicação do estudo em áreas com distintos regimes pluviométricos e características de solo, a fim de avaliar a adaptação e o desempenho das soluções sustentáveis em diferentes contextos ambientais;
- Investigação da viabilidade da combinação dos pavimentos permeáveis e telhados verdes com outras infraestruturas de drenagem sustentável, tais como bacias de retenção, jardins de chuva e trincheiras drenantes. Essa abordagem permite a criação de novos cenários e a análise comparativa dos resultados obtidos.

Referências Bibliográficas

- Alam, T., Mahmoud, A., Jones, K. D., Bezares-Cruz, J. C., & Guerrero, J. (2019). A Comparison of Three Types of Permeable Pavements for Urban Runoff Mitigation in the Semi-Arid South Texas, U.S.A. *Water*, 11(10), 1992. <https://doi.org/10.3390/w11101992>
- ANCV (2019). Guia técnico para projeto, construção e manutenção de coberturas verdes. 1.^a edição, Porto: Associação Nacional de Coberturas Verdes, 182p.
- ANQIP. (2024). ETA 0701. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios. Disponível online: <https://www.anqip.pt/pt/comissoes-tecnicas-e-especificacoes-anqip> (acedido em 2 janeiro 2024)
- Brandão, C. P. (2015). Hydrological performance of green roofs under Mediterranean climate. Native plants in the urban space (Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa). Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/11197>
- Brandão, C., do Rosário Cameira, M., Valente, F., Cruz de Carvalho, R. & Paço, T.A. (2017). Wet Season Hydrological Performance of Green Roofs Using Native Species under Mediterranean Climate. *Ecol. Eng.*, 102, 596–611.
- Calheiros, C.S.C. & Stefanakis, A.I. (2021). Green Roofs Towards Circular and Resilient Cities. *Circ. Econ. Sust.*, 1, 395–411.
- Calheiros, C.S.C., Castiglione, B. & Palha, P. (2022). Nature-Based Solutions for Socially and Environmentally Responsible New Cities: The Contribution of Green Roofs. In *Circular Economy and Sustainability*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 235–255.
- Carvalho, C. F. G. (2015). Estudo de pavimentos permeáveis em zonas urbanas Avaliação da sua eficiência na redução do escoamento superficial.
- Castro, A., Goldenfum, J., Silveira, A., & Marques, D. (2013). Avaliação da Evolução do Comportamento Quantitativo de Pavimentos Permeáveis no Controle do Escoamento Superficial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(1), 263–273. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v18n1.p263-273>

Chocat, B., Ashley, R., Marsalek, J., Matos, M. R., Rauch, W., Schilling, W., & Urbonas, B. (2007). Toward the Sustainable Management of Urban Storm-Water. *Indoor and Built Environment*, 16(3), 273–285. <https://doi.org/10.1177/1420326X07078854>

Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto. Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais.

Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de Dezembro - Aprova o Regime Geral Da Gestão de Resíduos, o Regime Jurídico Da Deposição de Resíduos Em Aterro e Altera o Regime Da Gestão de Fluxos Específicos de Resíduos, Transpondo as Diretivas (UE) 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852.

Dickie, S.; Ions, L.; McKay, G.; Shaffer, P. (2011). *Planning for SuDS - making it happen* (C687). CIRIA: London, UK.

EPA. (2000). *Low-impact Development (LID): a Literature Review*. United States Environmental Protection Agency.

European Commission. Directorate General for the Environment. (2012). *Orientações sobre as melhores práticas para limitar, atenuar ou compensar a impermeabilização dos solos*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/88588>

Evans, D. L., Falagán, N., Hardman, C. A., Kourmpetli, S., Liu, L., Mead, B. R., & Davies, J. A. C. (2022). Ecosystem service delivery by urban agriculture and green infrastructure – a systematic review. *Ecosystem Services*, 54, 101405. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101405>

Faustino, I. R. Q. (2022). PAVIMENTOS PERMEÁVEIS PARA MEIO URBANO.

Fersil. Infraestrutura, Saneamento e Drenagem. Disponível online: <https://fersil.com/solution/infraestruturas> (acedido em 2 setembro 2024)

Fini, A., Frangi, P., Mori, J., Donzelli, D., & Ferrini, F. (2017). Nature based solutions to mitigate soil sealing in urban areas: Results from a 4-year study comparing permeable, porous, and impermeable pavements. *Environmental Research*, 156, 443–454. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.032>

- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Ghodsi, S. H., Zahmatkesh, Z., Goharian, E., Kerachian, R., & Zhu, Z. (2020). Optimal design of low impact development practices in response to climate change. *Journal of Hydrology*, 580, 124266. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124266>
- Hou, L., Wang, Y., Shen, F., Lei, M., Wang, X., Zhao, X., Gao, S., & Alhaj, A. (2020). Study on Variation of Surface Runoff and Soil Moisture Content in the Subgrade of Permeable Pavement Structure. *Advances in Civil Engineering*, 2020(1), 8836643. <https://doi.org/10.1155/2020/8836643>
- Inovacivil. Descubra tudo sobre asfalto permeável. <https://inovacivil.com.br/asfalto-permeavel/>
- IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., et al., Eds.; Cambridge University Press: New York, NY, USA, 2022.
- Jabur, A., Dornelles, F., Silveira, A., Goldenfum, J., Okawa, C., & Gasparini, R. (2015). Determinação da capacidade de infiltração de pavimentos permeáveis / Determination of the infiltration capacity of permeable pavements. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(4), 937–945. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p937-945>
- Kader, S., Chadalavada, S., Jaufer, L., Spalevic, V. & Dudic, B. (2022). Green Roof Substrates - A Literature Review. *Front. Built Environ.*, 8, 1019362.
- Kia, A., Wong, H. S., & Cheeseman, C. R. (2017). Clogging in permeable concrete: A review. *Journal of Environmental Management*, 193, 221–233. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.018>

- Li, Q., Zhou, Z., Dong, J., Wang, Y., Yu, M., Chen, Q., Du, Y., & He, P. (2022). Comparison of Runoff Control Performance by Five Permeable Pavement Systems in Zhenjiang, Yangtze River Delta of China. *Journal of Hydrologic Engineering*, 27(10), 05022011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002202](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002202)
- Lourenço, R. R. de A. (2014). *Sistemas urbanos de drenagem sustentáveis*. (Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra). Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/14071>
- Marcelo Miguez, Osvaldo Rezende, Aline Veról. (2015). *Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade*. Elsevier Brasil.
- Marques, J., Sousa, J. (2018). *Hidráulica urbana. Sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais*. 4.^a edição, Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Monteiro, C.M., Calheiros, C.S.C., Pimentel-Rodrigues, C., Silva-Afonso, A. & Castro, P.M.L. (2016). Contributions to the Design of Rainwater Harvesting Systems in Buildings with Green Roofs in a Mediterranean Climate. *Water Sci. Technol.*, 73, 1842–1847.
- Morgado, P. (2008). *Concepção e dimensionamento de pavimentos em blocos*. Instituto Superior Técnico.
- Palermo, S.A.; Turco, M.; Principato, F.; Piro, P. (2019). Hydrological Effectiveness of an Extensive Green Roof in Mediterranean Climate. *Water*, 11, 1378.
- Pimentel-Rodrigues, C. & Silva-Afonso, A. (2019). Contributions of Water-Related Building Installations to Urban Strategies for Mitigation and Adaptation to Face Climate Change. *Appl. Sci.*, 9, 3575.
- Pinto, C. I. R. C. (2014). *Introdução às Coberturas Ajardinadas*. (Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto).
- Rodríguez-Rojas, M. I., & Grindlay Moreno, A. L. (2022). A Discussion on the Application of Terminology for Urban Soil Sealing Mitigation Practices. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8713. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148713>

- Rodríguez-Rojas, M. I., Garrido-Jiménez, F. J., Abarca-Álvarez, F. J., & Vallecillos-Siles, M. R. (2024). Advances in the Integration of Sustainable Drainage Systems into Urban Planning: A Case Study. *Sustainability*, 16(7), 2658. <https://doi.org/10.3390/su16072658>
- Santos, J. P. M. (2010). Gestão de águas pluviais urbanas: mudança do paradigma nos sistemas públicos de drenagem. (Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto).
- Santos, M.L., Silva, C.M., Ferreira, F. & Matos, J.S. (2023). Hydrological Analysis of Green Roofs Performance Under a Mediterranean Climate: A Case Study in Lisbon, Portugal. *Sustainability*, 15, 1064.
- Sequeira, I. C. S. (2018). Índices de impermeabilização e gestão territorial – O caso do Porto. (Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto).
- Silva, J., Paço, T.A., Sousa, V. & Silva, C.M. (2021). Hydrological Performance of Green Roofs in Mediterranean Climates: A Review and Evaluation of Patterns. *Water*, 13, 2600.
- Tang, S., Jiang, J., Zheng, Y., Hong, Y., Chung, E.-S., Shamseldin, A. Y., Wei, Y., & Wang, X. (2021). Robustness analysis of storm water quality modelling with LID infrastructures from natural event-based field monitoring. *Science of The Total Environment*, 753, 142007. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142007>
- Tucci, C., Goldenfum, J., & Araujo, P. (2000). AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA REDUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5(3), 21–29. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v5n3.p21-29>
- UN-Habitat. (2022). *World Cities Report 2022: Envisaging the future of cities*. United Nations Human Settlements Programme.
- Wolf, K. L. 2003 (in press). Ergonomics of the City: Green Infrastructure and Social Benefits. In C. Kollin (ed.), *Engineering Green: Proceedings of the 11th National Urban Forest Conference*. Washington D.C.: American Forests.

- Wong, T. H. F., & Brown, R. R. (2009). The water sensitive city: Principles for practice. *Water Science and Technology*, 60(3), 673–682. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.436>
- Xu, H., Randall, M. & Fryd, O. (2023). Urban Stormwater Management at the Meso-Level: A Review of Trends, Challenges and Approaches. *J. Environ. Manag.*, 331, 117255.
- Zhou, J., Pang, Y., Du, W., Huang, T., Wang, H., Zhou, M., & Liu, J. (2024). Review of the development and research of permeable pavements. *Hydrological Processes*, 38(6), e15179. <https://doi.org/10.1002/hyp.15179>
- Zhu, Z., Chen, Z., Chen, X., & Yu, G. (2019). An assessment of the hydrologic effectiveness of low impact development (LID) practices for managing runoff with different objectives. *Journal of Environmental Management*, 231, 504–514. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.046>

Anexos

Anexo A

Cálculo hidráulico, elementos para implantação dos coletores e das câmaras de visita

- Cenário 1: Loteamento com edifícios com coberturas inclinadas impermeáveis e lisas e arruamentos convencionais ($C_m = 0,70$).

Tabela A1: Cálculo hidráulico para o cenário 1.

Coletor	Caudais (l/s)		Diâmetro (D_{int}) (mm)	Inclinação (%)	Velocidades (m/s)		Altura do escoamento (m)		Tensão de arrasto (N/m^2)		Tempo de percurso (min)	
	Mín.	Máx.			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Min.	Máx.	Mín.	Máx.
CP1	12,20	40,65	177	1,99	1,62	2,18	0,061	0,126	6,59	10,26	0,27	0,37
CP2	15,78	52,61	177	6,34	2,65	3,64	0,052	0,101	18,35	29,66	0,13	0,18
CP3	21,53	71,78	177	7,53	3,07	4,17	0,058	0,117	23,98	37,88	0,12	0,16
CP4	26,37	87,89	177	6,18	3,03	3,88	0,068	0,153	22,28	32,36	0,12	0,15
CP5	12,83	42,78	177	9,51	2,88	4,03	0,042	0,079	23,08	38,21	0,18	0,25
CP6	23,43	78,11	177	5,32	2,77	3,62	0,066	0,145	18,86	28,08	0,20	0,26
CP7	62,40	208,00	275	3,60	3,06	3,99	0,103	0,225	19,82	29,51	0,08	0,10
CP8	79,00	263,33	352	1,55	2,37	3,08	0,132	0,289	10,90	16,23	0,18	0,24
CP9	87,54	291,81	352	1,90	2,62	3,42	0,132	0,289	13,38	19,93	0,18	0,24
C10	95,28	317,61	352	4,49	3,66	5,00	0,110	0,219	27,39	43,71	0,14	0,18
CP11	114,02	380,06	443	2,24	2,94	3,78	0,133	0,275	16,61	27,50	0,05	0,06

- Cenário 1: Loteamento com edifícios com coberturas inclinadas impermeáveis e lisas e arruamentos convencionais ($C_m = 0,70$).

Tabela A2: Elementos para implantação dos coletores para o cenário 1.

Coletor	Câmara de visita		Diâmetro do coletor (DN) (mm)	Comprimento (m)	Cota do terreno (m)		Cota da soleira (m)		Profundidade da soleira (m)		Recobrimento (m)	
	Mont.	Jus.			Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.
CP1	P1	P2	200,00	35,70	47,51	46,80	46,32	45,61	1,19	1,19	1,00	1,00
CP2	P2	P8	200,00	28,40	46,80	45,00	45,61	41,76	1,19	3,24	1,00	1,00
CP3	P3	P4	200,00	29,60	49,03	46,80	47,84	45,61	1,19	1,19	1,00	1,00
CP4	P4	P7	200,00	27,20	46,80	45,12	45,61	42,50	1,19	2,62	1,00	1,00
CP5	P5	P6	200,00	43,00	50,09	46,00	48,90	44,81	1,19	1,19	1,00	1,00
CP6	P6	P7	200,00	42,50	46,00	45,12	44,81	42,50	1,19	2,62	1,00	2,38
CP7	P7	P8	315,00	18,90	45,12	45,00	42,50	41,76	2,62	3,24	2,38	2,94
CP8	P8	P9	400,00	33,70	45,00	43,80	41,76	41,24	3,24	2,56	2,94	2,26
CP9	P9	P10	400,00	37,00	43,80	42,80	41,24	39,24	2,56	3,56	2,26	1,96
C10	P10	P11	400,00	40,50	42,80	39,37	39,24	37,99	3,56	1,38	2,61	1,00
CP11	P11	PE (*)	500,00	10,70	39,37	39,13	37,99	37,75	1,38	1,38	1,00	1,00

(*) Caixa de visita existente.

- Cenário 1: Loteamento com edifícios com coberturas inclinadas impermeáveis e lisas e arruamentos convencionais ($C_m = 0,70$).

Tabela A3: Elementos para implantação das câmaras de visita para o cenário 1.

Câmara de visita	Cota do terreno (m)	Cota da soleira (m)	Profundidade da soleira (m)	Diâmetro (m)
P1	47,51	46,32	1,19	1,00
P2	46,80	45,61	1,19	1,00
P3	49,03	47,84	1,19	1,00
P4	46,80	45,61	1,19	1,00
P5	50,09	48,90	1,19	1,00
P6	46,00	44,81	1,19	1,00
P7	45,12	42,50	2,62	1,25
P8	45,00	41,76	3,24	1,25
P9	43,80	41,24	2,56	1,25
P10	42,80	39,24	3,56	1,25
P11	39,37	37,99	1,38	1,00

- Cenário 2: Loteamento com edifícios com coberturas inclinadas impermeáveis e lisas e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,61$).

Tabela A4: Cálculo hidráulico para o cenário 2.

Coletor	Caudais (l/s)		Diâmetro (D _{int}) (mm)	Inclinação (%)	Velocidades (m/s)		Altura do escoamento (m)		Tensão de arrasto (N/m ²)		Tempo de percurso (min)	
	Mín.	Máx.			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Min.	Máx.	Mín.	Máx.
CP1	10,56	35,19	177	1,99	1,56	2,12	0,057	0,113	6,21	9,86	0,28	0,38
CP2	13,66	45,52	177	6,34	2,54	3,52	0,048	0,092	17,25	28,16	0,13	0,19
CP3	18,64	62,14	177	7,53	2,95	4,05	0,054	0,106	22,57	36,22	0,12	0,17
CP4	22,82	76,06	177	6,18	2,91	3,87	0,063	0,132	21,00	32,27	0,12	0,16
CP5	11,11	37,03	177	9,51	2,76	3,88	0,039	0,073	21,67	36,08	0,18	0,26
CP6	20,23	67,44	177	3,97	2,40	3,12	0,066	0,145	14,06	20,94	0,23	0,30
CP7	53,90	179,67	275	2,69	2,64	3,45	0,103	0,225	14,78	22,02	0,09	0,12
CP8	68,16	227,18	275	4,29	3,34	4,36	0,103	0,225	23,64	35,20	0,13	0,17
CP9	75,80	252,65	352	1,42	2,27	2,96	0,132	0,289	10,03	14,94	0,21	0,27
C10	82,35	274,51	352	4,88	3,62	5,00	0,100	0,194	27,51	44,65	0,14	0,19
CP11	98,55	328,49	443	2,05	2,74	3,78	0,126	0,244	14,55	23,60	0,05	0,07

- Cenário 2: Loteamento com edifícios com coberturas inclinadas impermeáveis e lisas e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,61$).

Tabela A5: Elementos para implantação dos coletores para o cenário 2.

Coletor	Câmara de visita		Diâmetro do coletor (DN) (mm)	Comprimento (m)	Cota do terreno (m)		Cota da soleira (m)		Profundidade da soleira (m)		Recobrimento (m)	
	Mont.	Jus.			Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.
	CP1	P1			P2	200,00	35,70	47,51	46,80	46,32	45,61	1,19
CP2	P2	P8	200,00	28,40	46,80	45,00	45,61	42,51	1,19	2,49	1,00	1,00
CP3	P3	P4	200,00	29,60	49,03	46,80	47,84	45,61	1,19	1,19	1,00	1,00
CP4	P4	P7	200,00	27,20	46,80	45,12	45,61	43,08	1,19	2,04	1,00	1,00
CP5	P5	P6	200,00	43,00	50,09	46,00	48,90	44,81	1,19	1,19	1,00	1,00
CP6	P6	P7	200,00	42,50	46,00	45,12	44,81	43,08	1,19	2,04	1,00	1,81
CP7	P7	P8	315,00	18,90	45,12	45,00	43,08	42,51	2,04	2,49	1,81	2,19
CP8	P8	P9	315,00	33,70	45,00	43,80	42,51	41,06	2,49	2,74	2,19	2,44
CP9	P9	P10	400,00	37,00	43,80	42,80	41,06	39,56	2,74	3,24	2,44	1,97
C10	P10	P11	400,00	40,50	42,80	39,37	39,56	37,95	3,24	1,42	2,45	1,00
CP11	P11	PE	500,00	10,70	39,37	39,13	37,95	37,75	1,42	1,38	1,02	1,00

^(*) Caixa de visita existente.

- Cenário 2: Loteamento com edifícios com coberturas inclinadas impermeáveis e lisas e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,61$).

Tabela A6: Elementos para implantação das câmaras de visita para o cenário 2.

Câmara de visita	Cota do terreno (m)	Cota da soleira (m)	Profundidade da soleira (m)	Diâmetro (m)
P1	47,51	46,32	1,19	1,00
P2	46,80	45,61	1,19	1,00
P3	49,03	47,84	1,19	1,00
P4	46,80	45,61	1,19	1,00
P5	50,09	48,90	1,19	1,00
P6	46,00	44,81	1,19	1,00
P7	45,12	43,08	2,04	1,00
P8	45,00	42,51	2,49	1,25
P9	43,80	41,06	2,74	1,25
P10	42,80	39,56	3,24	1,25
P11	39,37	37,95	1,42	1,00

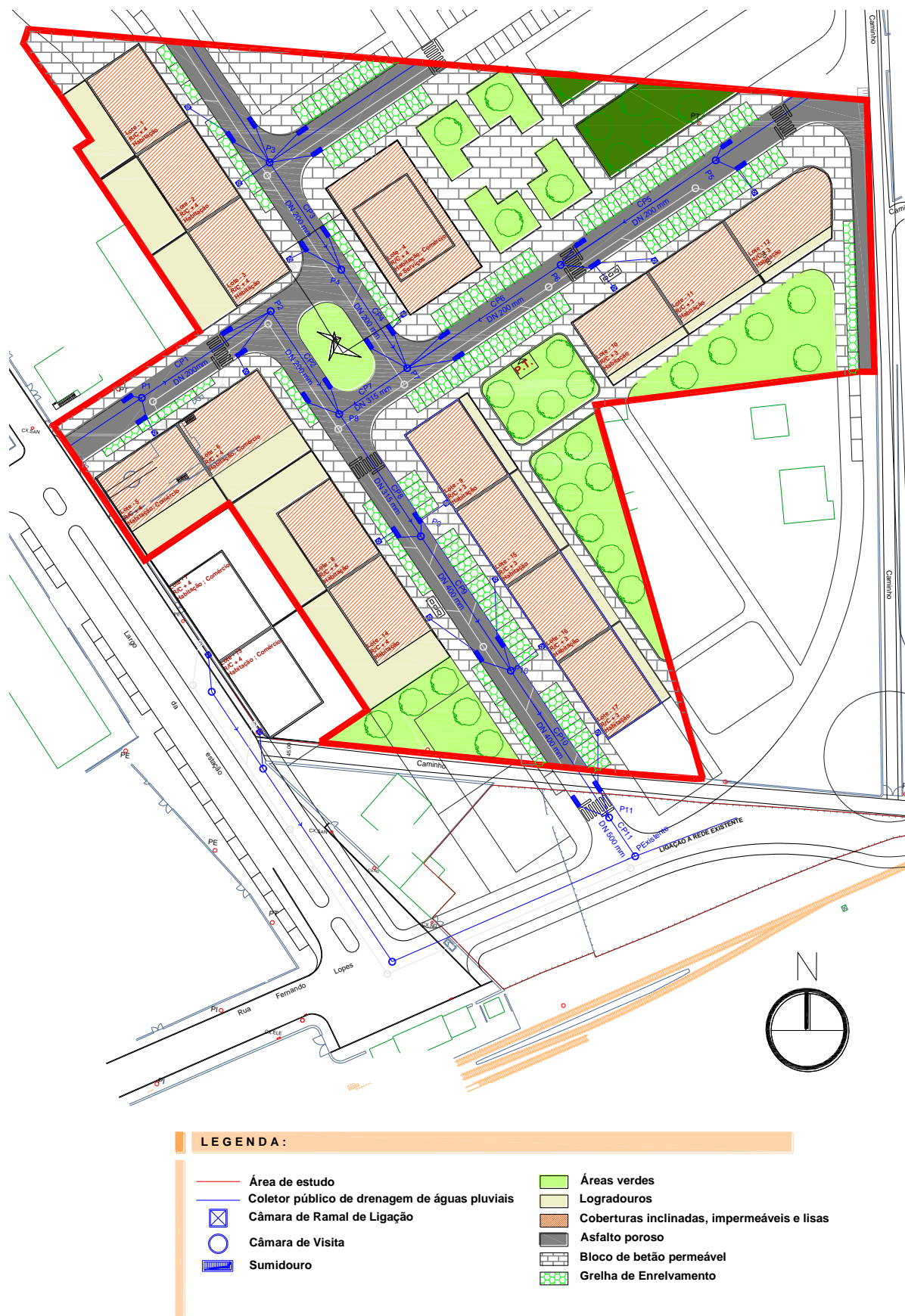


Figura A1: Loteamento urbano com coberturas inclinadas impermeáveis e lisas e pavimentos mais sustentáveis (desenho sem escala)

- Cenário 3: Loteamento com edifícios com coberturas planas com inertes de proteção e arruamentos convencionais ($C_m = 0,65$).

Tabela A7: Cálculo hidráulico para o cenário 3.

Coletor	Caudais (l/s)		Diâmetro (D_{int}) (mm)	Inclinação (%)	Velocidades (m/s)		Altura do escoamento (m)		Tensão de arrasto (N/m^2)		Tempo de percurso (min)	
	Mín.	Máx.			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
CP1	11,24	37,48	177	1,99	1,59	2,15	0,058	0,118	6,37	10,05	0,28	0,38
CP2	14,55	48,49	177	6,34	2,59	3,58	0,049	0,096	17,72	28,82	0,13	0,18
CP3	19,85	66,18	177	7,53	3,00	4,10	0,056	0,110	23,18	36,97	0,12	0,16
CP4	24,30	81,01	177	6,18	2,96	3,90	0,065	0,139	21,55	32,56	0,12	0,15
CP5	11,83	39,44	177	9,51	2,81	3,95	0,040	0,075	22,27	37,00	0,18	0,25
CP6	21,57	71,91	177	4,51	2,55	3,33	0,066	0,145	15,98	23,80	0,21	0,28
CP7	57,46	191,53	275	3,05	2,82	3,68	0,103	0,225	16,80	25,02	0,09	0,11
CP8	72,70	242,32	275	4,88	3,57	4,65	0,103	0,225	26,90	40,05	0,12	0,16
CP9	80,89	269,62	352	1,62	2,42	3,16	0,132	0,289	11,42	17,01	0,20	0,25
C10	87,95	293,17	352	4,67	3,63	4,99	0,105	0,205	27,31	44,01	0,14	0,19
CP11	105,19	350,62	443	2,24	2,88	3,77	0,127	0,258	16,04	26,61	0,05	0,06

- Cenário 3: Loteamento com edifícios com coberturas planas com inertes de proteção e arruamentos convencionais ($C_m = 0,65$).

Tabela A8: Elementos para implantação dos coletores para o cenário 3.

Coletor	Câmara de visita		Diâmetro do coletor (DN) (mm)	Comprimento (m)	Cota do terreno (m)		Cota da soleira (m)		Profundidade da soleira (m)		Recobrimento (m)	
	Mont.	Jus.			Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.
CP1	P1	P2	200,00	35,70	47,51	46,80	46,32	45,61	1,19	1,19	1,00	1,00
CP2	P2	P8	200,00	28,40	46,80	45,00	45,61	42,21	1,19	2,79	1,00	1,00
CP3	P3	P4	200,00	29,60	49,03	46,80	47,84	45,61	1,19	1,19	1,00	1,00
CP4	P4	P7	200,00	27,20	46,80	45,12	45,61	42,85	1,19	2,27	1,00	1,00
CP5	P5	P6	200,00	43,00	50,09	46,00	48,90	44,81	1,19	1,19	1,00	1,00
CP6	P6	P7	200,00	42,50	46,00	45,12	44,81	42,85	1,19	2,27	1,00	2,04
CP7	P7	P8	315,00	18,90	45,12	45,00	42,85	42,21	2,27	2,79	2,04	2,49
CP8	P8	P9	315,00	33,70	45,00	43,80	42,21	40,57	2,79	3,23	2,49	2,94
CP9	P9	P10	400,00	37,00	43,80	42,80	40,57	39,97	3,23	2,83	2,94	2,54
C10	P10	P11	400,00	40,50	42,80	39,37	39,97	37,99	2,83	1,38	2,54	1,00
CP11	P11	PE	500,00	10,70	39,37	39,13	37,99	37,75	1,38	1,38	1,00	1,00

^(*) Caixa de visita existente.

- Cenário 3: Loteamento com edifícios com coberturas planas com inertes de proteção e arruamentos convencionais ($C_m = 0,65$).

Tabela A9: Elementos para implantação das câmaras de visita para o cenário 3.

Câmara de visita	Cota do terreno (m)	Cota da soleira (m)	Profundidade da soleira (m)	Diâmetro (m)
P1	47,51	46,32	1,19	1,00
P2	46,80	45,61	1,19	1,00
P3	49,03	47,84	1,19	1,00
P4	46,80	45,61	1,19	1,00
P5	50,09	48,90	1,19	1,00
P6	46,00	44,81	1,19	1,00
P7	45,12	42,85	2,27	1,00
P8	45,00	42,21	2,79	1,25
P9	43,80	40,57	3,23	1,25
P10	42,80	39,97	2,83	1,25
P11	39,37	37,99	1,38	1,00

- Cenário 4: Loteamento com edifícios com coberturas planas com inertes de proteção e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,55$).

Tabela A10: Cálculo hidráulico para o cenário 4.

Coletor	Caudais (l/s)		Diâmetro (D_{int}) (mm)	Inclinação (%)	Velocidades (m/s)		Altura do escoamento (m)		Tensão de arrasto (N/m^2)		Tempo de percurso (min)	
	Mín.	Máx.			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
CP1	9,60	32,02	177	1,99	1,52	2,08	0,054	0,106	5,96	9,57	0,29	0,39
CP2	12,42	41,39	177	6,34	2,47	3,44	0,046	0,087	16,56	27,18	0,14	0,19
CP3	16,96	56,53	177	7,53	2,87	3,96	0,051	0,100	21,68	35,08	0,12	0,17
CP4	20,76	69,18	177	6,18	2,83	3,82	0,060	0,122	20,18	31,59	0,12	0,16
CP5	10,11	33,69	177	9,51	2,69	3,78	0,037	0,069	20,79	34,72	0,19	0,27
CP6	18,37	61,24	177	3,27	2,18	2,84	0,066	0,145	11,59	17,26	0,25	0,33
CP7	48,96	163,20	224	6,62	3,62	4,72	0,084	0,184	29,67	44,19	0,07	0,09
CP8	62,00	206,66	275	3,55	3,04	3,97	0,103	0,225	19,56	29,13	0,14	0,18
CP9	68,89	229,63	275	4,39	3,38	4,41	0,103	0,225	24,15	35,97	0,14	0,18
C10	75,18	250,59	352	2,89	2,92	4,00	0,109	0,216	17,50	27,98	0,17	0,23
CP11	89,60	298,67	352	2,24	2,80	4,76	0,128	0,216	15,42	21,73	0,04	0,06

- Cenário 4: Loteamento com edifícios com coberturas planas com inertes de proteção e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,55$).

Tabela A11: Elementos para implantação dos coletores para o cenário 4.

Coletor	Câmara de visita		Diâmetro do coletor (DN) (mm)	Comprimento (m)	Cota do terreno (m)		Cota da soleira (m)		Profundidade da soleira (m)		Recobrimento (m)	
	Mont.	Jus.			Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.
	CP1	P1			P2	200,00	35,70	47,51	46,80	46,32	45,61	1,19
CP2	P2	P8	200,00	28,40	46,80	45,00	45,61	42,06	1,19	2,94	1,00	1,00
CP3	P3	P4	200,00	29,60	49,03	46,80	47,84	45,61	1,19	1,19	1,00	1,00
CP4	P4	P7	200,00	27,20	46,80	45,12	45,61	43,37	1,19	1,75	1,00	1,00
CP5	P5	P6	200,00	43,00	50,09	46,00	48,90	44,81	1,19	1,19	1,00	1,00
CP6	P6	P7	200,00	42,50	46,00	45,12	44,81	43,37	1,19	1,75	1,00	1,51
CP7	P7	P8	250,00	18,90	45,12	45,00	43,37	42,06	1,75	2,94	1,51	2,64
CP8	P8	P9	315,00	33,70	45,00	43,80	42,06	40,87	2,94	2,93	2,64	2,64
CP9	P9	P10	315,00	37,00	43,80	42,80	40,87	39,24	2,93	3,56	2,64	3,26
C10	P10	P11	400,00	40,50	42,80	39,37	39,24	37,99	3,56	1,38	3,26	1,00
CP11	P11	PE	400,00	10,70	39,37	39,13	37,99	37,75	1,38	1,38	1,00	1,00

^(*) Caixa de visita existente.

- Cenário 4: Loteamento com edifícios com coberturas planas com inertes de proteção e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,55$).

Tabela A12: Elementos para implantação das câmaras de visita para o cenário 4.

Câmara de visita	Cota do terreno (m)	Cota da soleira (m)	Profundidade da soleira (m)	Diâmetro (m)
P1	47,51	46,32	1,19	1,00
P2	46,80	45,61	1,19	1,00
P3	49,03	47,84	1,19	1,00
P4	46,80	45,61	1,19	1,00
P5	50,09	48,90	1,19	1,00
P6	46,00	44,81	1,19	1,00
P7	45,12	43,37	1,75	1,00
P8	45,00	42,06	2,94	1,25
P9	43,80	40,87	2,93	1,25
P10	42,80	39,24	3,56	1,25
P11	39,37	37,99	1,38	1,00

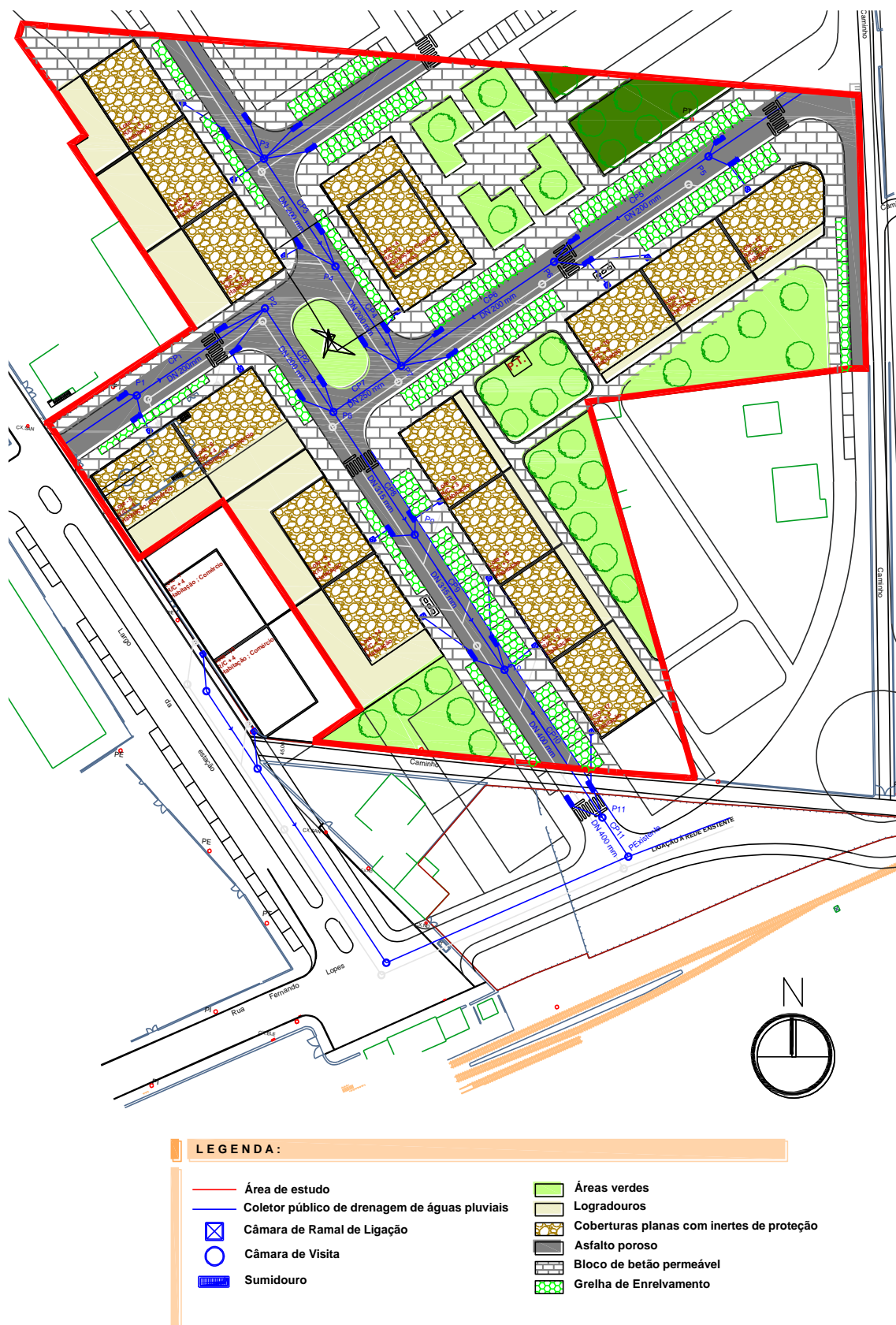


Figura A2: Loteamento urbano com coberturas planas com inertes de proteção e pavimentos mais sustentáveis (desenho sem escala).

- Cenário 5: Loteamento com edifícios com coberturas verdes extensivas, sem rega e arruamentos convencionais ($C_m = 0,59$).

Tabela A13: Cálculo hidráulico para o cenário 5.

Coletor	Caudais (l/s)		Diâmetro (D_{int}) (mm)	Inclinação (%)	Velocidades (m/s)		Altura do escoamento (m)		Tensão de arrasto (N/m^2)		Tempo de percurso (min)	
	Mín.	Máx.			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
CP1	10,29	34,30	177	1,99	1,55	2,11	0,06	0,11	6,14	9,79	0,28	0,38
CP2	13,31	44,37	177	6,34	2,52	3,50	0,05	0,09	17,06	27,90	0,14	0,19
CP3	18,17	60,57	177	7,53	2,93	4,02	0,05	0,10	22,32	35,92	0,12	0,17
CP4	22,24	74,14	177	6,18	2,89	3,86	0,06	0,13	20,77	32,11	0,12	0,16
CP5	10,83	36,10	177	9,51	2,74	3,86	0,04	0,07	21,43	35,71	0,19	0,26
CP6	19,71	65,71	177	3,77	2,33	3,04	0,07	0,15	13,35	19,88	0,23	0,30
CP7	52,52	175,07	275	2,55	2,58	3,36	0,10	0,23	14,04	20,91	0,09	0,12
CP8	66,40	221,32	275	4,07	3,26	4,25	0,10	0,23	22,44	33,41	0,13	0,17
CP9	73,82	246,08	275	5,04	3,62	4,72	0,10	0,23	27,74	41,30	0,13	0,17
C10	80,61	268,69	352	3,24	3,11	4,24	0,11	0,22	19,72	31,49	0,16	0,22
CP11	96,16	320,53	443	2,24	2,80	3,20	0,12	0,27	15,44	27,46	0,06	0,06

- Cenário 5: Loteamento com edifícios com coberturas verdes extensivas, sem rega e arruamentos convencionais ($C_m = 0,59$).

Tabela A14: Elementos para implantação dos coletores para o cenário 5.

Coletor	Câmara de visita		Diâmetro do coletor (DN) (mm)	Comprimento (m)	Cota do terreno (m)		Cota da soleira (m)		Profundidade da soleira (m)		Recobrimento (m)	
	Mont.	Jus.			Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.
	CP1	P1			P2	200,00	35,70	47,51	46,80	46,32	45,61	1,19
CP2	P2	P8	200,00	28,40	46,80	45,00	45,61	42,62	1,19	2,38	1,00	1,00
CP3	P3	P4	200,00	29,60	49,03	46,80	47,84	45,61	1,19	1,19	1,00	1,00
CP4	P4	P7	200,00	27,20	46,80	45,12	45,61	43,16	1,19	1,96	1,00	1,00
CP5	P5	P6	200,00	43,00	50,09	46,00	48,90	44,81	1,19	1,19	1,00	1,00
CP6	P6	P7	200,00	42,50	46,00	45,12	44,81	43,16	1,19	1,96	1,00	1,72
CP7	P7	P8	315,00	18,90	45,12	45,00	43,16	42,62	1,96	2,38	1,72	2,08
CP8	P8	P9	315,00	33,70	45,00	43,80	42,62	41,25	2,38	2,55	2,08	2,26
CP9	P9	P10	315,00	37,00	43,80	42,80	41,25	39,39	2,55	3,41	2,26	3,12
C10	P10	P11	400,00	40,50	42,80	39,37	39,39	37,99	3,41	1,38	3,12	1,00
CP11	P11	PE	500,00	10,70	39,37	39,13	37,99	37,75	1,38	1,38	1,00	1,00

^(*) Caixa de visita existente.

Cenário 5: Loteamento com edifícios com coberturas verdes extensivas, sem rega e arruamentos convencionais ($C_m = 0,59$).

Tabela A16: Elementos para implantação das câmaras de visita para o cenário 5.

Câmara de visita	Cota do terreno (m)	Cota da soleira (m)	Profundidade da soleira (m)	Diâmetro (m)
P1	47,51	46,32	1,19	1,00
P2	46,80	45,61	1,19	1,00
P3	49,03	47,84	1,19	1,00
P4	46,80	45,61	1,19	1,00
P5	50,09	48,90	1,19	1,00
P6	46,00	44,81	1,19	1,00
P7	45,12	43,16	1,96	1,00
P8	45,00	42,62	2,38	1,25
P9	43,80	41,25	2,55	1,25
P10	42,80	39,39	3,41	1,25
P11	39,37	37,99	1,38	1,00

- Cenário 6: Loteamento com edifícios com coberturas verdes extensivas, sem rega e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,50$).

Tabela A16: Cálculo hidráulico para o cenário 6.

Coletor	Caudais (l/s)		Diâmetro (D_{int}) (mm)	Inclinação (%)	Velocidades (m/s)		Altura do escoamento (m)		Tensão de arrasto (N/m^2)		Tempo de percurso (min)	
	Mín.	Máx.			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
CP1	8,65	28,84	177	1,99	1,47	2,03	0,05	0,10	5,71	9,24	0,29	0,40
CP2	11,18	37,27	177	6,34	2,40	3,35	0,04	0,08	15,82	26,11	0,14	0,20
CP3	15,28	50,92	177	7,53	2,79	3,86	0,05	0,09	20,73	33,80	0,13	0,18
CP4	18,69	62,31	177	6,18	2,75	3,74	0,06	0,11	19,32	30,68	0,12	0,16
CP5	9,10	30,35	177	9,51	2,61	3,68	0,04	0,07	19,86	33,27	0,19	0,27
CP6	16,51	55,05	177	2,64	1,96	2,55	0,07	0,15	9,37	13,95	0,28	0,36
CP7	44,02	146,74	224	5,35	3,25	4,24	0,08	0,18	23,99	35,73	0,07	0,10
CP8	55,70	185,66	275	2,87	2,73	3,56	0,10	0,23	15,79	23,51	0,16	0,21
CP9	61,83	206,11	275	3,53	3,03	3,96	0,10	0,23	19,46	28,98	0,16	0,20
C10	67,41	224,71	275	5,49	3,64	4,87	0,10	0,20	28,59	44,25	0,14	0,19
CP11	80,60	268,68	352	2,24	2,72	3,56	0,12	0,26	14,76	23,16	0,05	0,07

- Cenário 6: Loteamento com edifícios com coberturas verdes extensivas, sem rega e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,50$).

Tabela A17: Elementos para implantação dos coletores para o cenário 6.

Coletor	Câmara de visita		Diâmetro do coletor (DN) (mm)	Comprimento (m)	Cota do terreno (m)		Cota da soleira (m)		Profundidade da soleira (m)		Recobrimento (m)	
	Mont.	Jus.			Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.
CP1	P1	P2	200,00	35,70	47,51	46,80	46,32	45,61	1,19	1,19	1,00	1,00
CP2	P2	P8	200,00	28,40	46,80	45,00	45,61	42,57	1,19	2,43	1,00	1,00
CP3	P3	P4	200,00	29,60	49,03	46,80	47,84	45,61	1,19	1,19	1,00	1,00
CP4	P4	P7	200,00	27,20	46,80	45,12	45,61	43,64	1,19	1,48	1,00	1,00
CP5	P5	P6	200,00	43,00	50,09	46,00	48,90	44,81	1,19	1,19	1,00	1,00
CP6	P6	P7	200,00	42,50	46,00	45,12	44,81	43,64	1,19	1,48	1,00	1,24
CP7	P7	P8	250,00	18,90	45,12	45,00	43,64	42,57	1,48	2,43	1,24	2,13
CP8	P8	P9	315,00	33,70	45,00	43,80	42,57	41,60	2,43	2,20	2,13	1,90
CP9	P9	P10	315,00	37,00	43,80	42,80	41,60	40,30	2,20	2,50	1,90	2,21
C10	P10	P11	315,00	40,50	42,80	39,37	40,30	37,99	2,50	1,38	2,21	1,00
CP11	P11	PE	400,00	10,70	39,37	39,13	37,99	37,75	1,38	1,38	1,00	1,00

^(*) Caixa de visita existente.

- Cenário 6: Loteamento com edifícios com coberturas verdes extensivas, sem rega e arruamentos mais sustentáveis ($C_m = 0,50$).

Tabela A18: Elementos para implantação das câmaras de visita para o cenário 6.

Câmara de visita	Cota do terreno (m)	Cota da soleira (m)	Profundidade da soleira (m)	Diâmetro (m)
P1	47,51	46,32	1,19	1,00
P2	46,80	45,61	1,19	1,00
P3	49,03	47,84	1,19	1,00
P4	46,80	45,61	1,19	1,00
P5	50,09	48,90	1,19	1,00
P6	46,00	44,81	1,19	1,00
P7	45,12	43,64	1,48	1,00
P8	45,00	42,57	2,43	1,25
P9	43,80	41,60	2,20	1,00
P10	42,80	40,30	2,50	1,25
P11	39,37	37,99	1,38	1,00

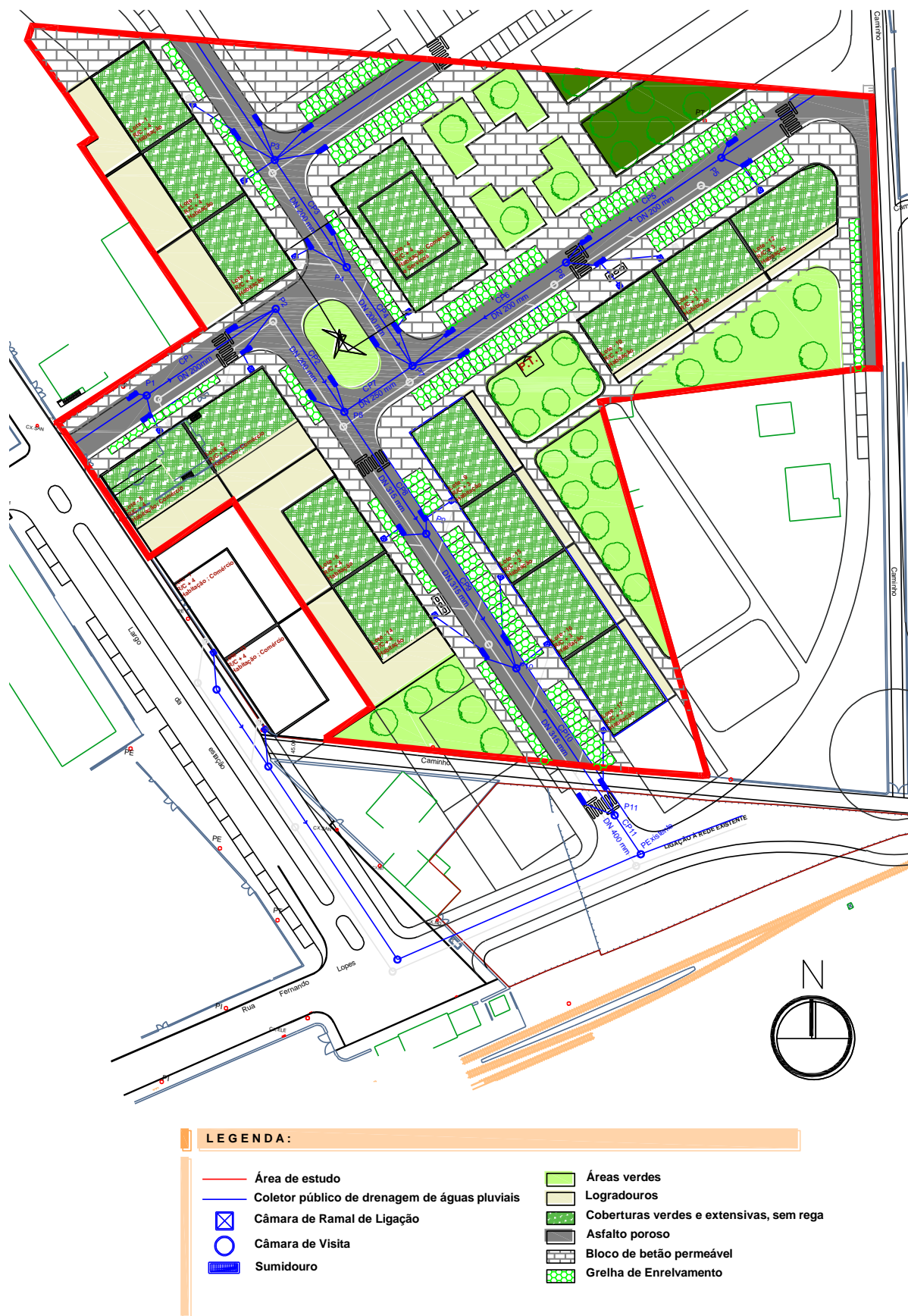


Figura A3: Loteamento urbano com coberturas verdes e extensivas, sem rega e pavimentos mais sustentáveis (desenho sem escala).

Anexo B

Participação enquanto estudante de Dupla Diplomação IPB/UTFPR

Hack, G., Antão-Geraldes, A.M. & Silva, F. (submetido). Sustentabilidade dos sistemas de drenagem pluvial urbana: um caminho para a conservação dos ecossistemas fluviais e costeiros? Resumo submetido ao XV Encontro da Rede BrasPor – Cultura oceânica – clima, sustentabilidade e gestão de recursos, 22 a 25 de outubro de 2025, Porto (presencial e online).