



**Utilização de pavimentos permeáveis para dar  
resposta à redução do escoamento superficial em  
áreas urbanas - caso de estudo**

Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas

Nahum Gabriel Hijaz Fialho dos Santos

Leiria, Outubro de 2020



**Utilização de pavimentos permeáveis para dar  
resposta à redução do escoamento superficial em  
áreas urbanas - caso de estudo**

Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas

Nahum Gabriel Hijaz Fialho dos Santos

Dissertação de mestrado realizada sob a orientação do Professor Doutor Ricardo de Jesus Gomes e coorientação da Professora Doutora Anabela Quintela Nunes Veiga, docentes do Departamento de Engenharia Civil do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, Outubro de 2020

# **Originalidade e Direitos de Autor**

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual a mesma foi realizada, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cíveis, no ano letivo 2019/2020, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

# Resumo

A ocupação humana em centros de grande densidade demográfica gera uma série de impactos sobre o ambiente ali existente. Entre estes impactos, merece destaque a alteração do ciclo hidrológico causado pela impermeabilização do solo, o que gera o aumento do volume de precipitação retida na superfície e uma diminuição no tempo de concentração, fatores estes que podem evoluir para uma inundação com potencial de gerar grandes perdas de vidas e financeiras. Neste enquadramento, os sistemas de drenagem sustentável buscam criar uma alternativa aos modelos de drenagem urbana tradicionais, realizando o controlo do escoamento superficial na origem, através da renaturalização do ciclo da água em meio urbano.

O estudo aqui apresentado, centra-se na avaliação do impacto da utilização de um pavimento permeável para dar resposta à redução do escoamento superficial na Urbanização dos Capuchos, na zona urbana da cidade de Leiria (Portugal). Esta área foi escolhida por se tratar de uma zona urbana consolidada onde são conhecidas as características da rede de drenagem, o que, somado às características fisiográficas da bacia de drenagem, constituem uma área de estudo para a qual é possível fazer uma análise detalhada do desempenho integrado da utilização de pavimentos permeáveis e da rede de drenagem existente. Os sistemas de drenagem, o existente e o proposto, foram modelados com recurso ao software Storm Water Management Model (SWMM5.1), de onde foram analisados os resultados para diferentes cenários de intensidade de precipitação e estrutura do pavimento permeável.

Os resultados obtidos permitiram constatar de forma objetiva que a alternativa proposta apresenta resultados satisfatórios o suficiente para servir como base para a justificação técnica de utilização desta tecnologia, em termos de resposta a diferentes eventos hidrológicos, de forma a superar as limitações que o sistema de drenagem urbana existente apresenta, visando evidenciar a viabilidade técnico/económica da sua utilização em larga escala.

**Palavras-chave:** Drenagem Urbana, Modelação Hidrológica e Hidráulica, Pavimento Permeável, SWMM.

# Abstract

The human occupation in high demographics density places generates a series of impacts over the existing environment. Among these impacts, a special attention should be given to the alteration of hydrological cycle caused by the impermeabilization of the surface, which creates an increase in the volume of rainfall retained on the surface and a decrease of concentration time, these factors could evolve into a flood with the potential of generating great financial and human losses. In this context, the sustainable drainage systems aim to create an alternative to the traditional models of urban drainage, switching the control of superficial runoff to the origin, through the recovery of the water cycle in the urban environment.

This paper focuses the evaluation of the impacts of using a continuous permeable pavement system as a method for reduction of superficial runoff at the Capuchos urbanization, in Leiria City. This area was chosen because it is a consolidated urban environment with well-known characteristics of the drainage system, which, added the characteristics of the drainage catchment, constitute an area where it is possible to make a detailed analysis of the pervious pavement performance and the existing drainage system. Both drainage system, the existing and the proposed one, were modeled using the software Storm Water Management Model (SWMM5.1), the results were analyzed for different scenarios of rainfall intensity and continuous permeable pavement composition.

The results allowed to conclude that the alternative proposed presents good performance, enough to be used as technical base to justify the usage of this technology as a response to different hydrological events, surpassing the limitations presented by the existing drainage system, making clear the technical and economic viability of a large-scale implementation.

**Keywords:** Urban drainage system, Hydrological and Hydraulic Modeling, Continuous Permeable Pavement, SWMM.

## **Nota**

O estudo aqui apresentado foi publicado na 2ª Conferência Campus Sustentável 2020 (CCS2020), na categoria “Operações e iniciativas inteligentes para um campus sustentável”.

O evento é promovido pela Rede Campus Sustentável (Portugal) e organizado pelo Instituto Politécnico de Tomar, no dia 30 de outubro de 2020, na cidade de Tomar e se constitui de um fórum de discussão e reflexão sobre os mais recentes avanços na investigação, inovação e práticas na implementação dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) nas Instituições de Ensino Superior, tendo como finalidade servir de plataforma de colaboração e intercâmbio de ideias entre estudantes, académicos, investigadores e especialistas, na procura de soluções inteligentes e inovadoras para um futuro mais sustentável.

# Índice

|   |            |
|---|------------|
| <b>Originalidade e Direitos de Autor .....</b>                    | <b>iii</b> |
| <b>Resumo .....</b>   | <b>iv</b>  |
| <b>Abstract .....</b>   | <b>v</b>   |
| <b>Nota .....</b>   | <b>vi</b>  |
| <b>Lista de Figuras .....</b>                                     | <b>ix</b>  |
| <b>Lista de tabelas .....</b>                                     | <b>xi</b>  |
| <b>1. Introdução .....</b>  | <b>1</b>   |
| <b>1.1. Enquadramento do tema .....</b>                           | <b>1</b>   |
| <b>1.2. Motivação e objetivos .....</b>                           | <b>2</b>   |
| <b>1.3. Estrutura da dissertação .....</b>                        | <b>3</b>   |
| <b>2. Revisão bibliográfica .....</b>                             | <b>4</b>   |
| <b>2.1. Impacto da urbanização no tempo de concentração .....</b> | <b>4</b>   |
| <b>2.2. Pavimentos permeáveis .....</b>                           | <b>5</b>   |
| 2.2.1. Tecnologias e sistemas de pavimentos permeáveis .....      | 5          |
| 2.2.2. Sistemas de infiltração .....                              | 11         |
| 2.2.3. Vantagens de desvantagens .....                            | 12         |
| <b>2.3. Casos de estudo publicados na literatura .....</b>        | <b>13</b>  |
| <b>2.4. Caracterização do solo .....</b>                          | <b>16</b>  |
| <b>2.5. Software .....</b>  | <b>18</b>  |
| <b>3. Caso de estudo .....</b>                                    | <b>20</b>  |
| <b>3.1. Localização geográfica .....</b>                          | <b>20</b>  |
| <b>3.2. Descrição da zona de estudo .....</b>                     | <b>21</b>  |
| 3.2.1. Rede 1 .....   | 24         |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| 3.2.2.      | Rede 2.....  | 26        |
| 3.2.3.      | Rede 3.....  | 31        |
| <b>3.3.</b> | <b>Estimativa precipitação .....</b>                                   | <b>36</b> |
| 3.3.1.      | Período de retorno .....   | 36        |
| 3.3.2.      | Hietograma de precipitação.....  | 37        |
| <b>3.4.</b> | <b>Parâmetros de modelação/simulação hidrológica e hidráulica.....</b> | <b>39</b> |
| <b>4.</b>   | <b>Resultados .....</b>  | <b>43</b> |
| 4.1.        | Tempo de concentração .....  | 43        |
| 4.2.        | Caudal de ponta máximo .....   | 52        |
| 4.3.        | Escoamento superficial .....   | 57        |
| <b>5.</b>   | <b>Conclusões.....</b>   | <b>64</b> |
|             | <b>Referências.....</b>  | <b>66</b> |
|             | <b>Anexos .....</b>  | <b>70</b> |

# Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Efeito da urbanização no pico de escoamento superficial.....  | 5  |
| Figura 2 – Representação conceitual de um controle LID.....  | 6  |
| Figura 3 – Diferentes tipos de superfícies: a) blocos de pavimento permeável; b) asfalto poroso; c) betão poroso; d) gravilha ligada por resina; e) grama reforçada; f) gravilha. .... | 7  |
| Figura 4 – Pavimento de bloco permeável com sistema de sub-base geocelular.....  | 9  |
| Figura 5 – Representação do problema causado por declividade excessiva. ....   | 10 |
| Figura 6 – Representação da solução por represamento interno.....  | 10 |
| Figura 7 - Representação da solução por criação de terraços. ....  | 11 |
| Figura 8 – Sistemas de infiltração. ....   | 12 |
| Figura 9 – Módulos utilizados: a) solo compactado; b) blocos de granito; c) blocos de betão industrializado; d) betão convencional; e) blocos de betão vazados; f) betão poroso. ....  | 14 |
| Figura 10 – Resultados obtidos através da simulação, para chuvada com tempo de retorno 5 anos. ....  | 15 |
| Figura 11 - Esboço da Carta Geológica de Portugal, Folha 23-C de Leiria, escala 1:50000.....   | 17 |
| Figura 12 – Localização do Conselho de Leiria. ....  | 20 |
| Figura 13 - Localização da área de estudo.....   | 21 |
| Figura 14 - Separação da rede de drenagem.....   | 22 |
| Figura 15 - Delimitação das unidades geológicas. ....  | 23 |
| Figura 16 - Representação de dados referentes a Rede 1.....  | 25 |
| Figura 17 - Representação de dados referentes a Rede 2.....  | 27 |
| Figura 18 - Representação de dados referentes a Rede 3.....  | 32 |
| Figura 19 – Hietograma $T_r=10$ anos, $\Delta t=10$ min.....   | 38 |
| Figura 20 - Hietograma $T_r=20$ anos, $\Delta t=10$ min. ....  | 39 |
| Figura 21 - Tempo de concentração da Rede 1 (sem LID) para $T_r=10$ anos.....  | 44 |
| Figura 22 - Tempo de concentração da Rede 2 (sem LID) para $T_r=10$ anos.....  | 44 |
| Figura 23 - Tempo de concentração da Rede 3 (sem LID) para $T_r=10$ anos.....  | 45 |
| Figura 24 - Tempo de concentração da Rede 1 (com LID) para $T_r=10$ anos. ....   | 46 |
| Figura 25 - Tempo de concentração da Rede 2 (com LID) para $T_r=10$ anos. ....   | 46 |
| Figura 26 - Tempo de concentração da Rede 3 (com LID) para $T_r=10$ anos. ....   | 47 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 27 - Tempo de concentração da Rede 1 (sem LID) para $Tr=20$ anos. ....  | 48 |
| Figura 28 - Tempo de concentração da Rede 2 (sem LID) para $Tr=20$ anos. ....  | 49 |
| Figura 29 - Tempo de concentração da Rede 3 (sem LID) para $Tr=20$ anos. ....  | 49 |
| Figura 30 - Tempo de concentração da Rede 1 (com LID) para $Tr=20$ anos. ....  | 50 |
| Figura 31 - Tempo de concentração da Rede 2 (com LID) para $Tr=20$ anos. ....  | 51 |
| Figura 32 - Tempo de concentração da Rede 3 (com LID) para $Tr=20$ anos. ....  | 51 |
| Figura 33 - Comparação do caudal de ponta máximo antes e depois da instalação do sistema LID para $Tr=10$ anos. .... | 53 |
| Figura 34 - Comparação do caudal de ponta máximo antes e depois da instalação do sistema LID para $Tr=10$ anos. .... | 53 |
| Figura 35 – Comparação do caudal de ponta máximo antes e depois da instalação do sistema LID para $Tr=10$ anos. .... | 54 |
| Figura 36 - Comparação do caudal de ponta máximo antes e depois da instalação do sistema LID para $Tr=20$ anos. .... | 55 |
| Figura 37 -Comparação do caudal de ponta máximo antes e depois da instalação do sistema LID para $Tr=20$ anos. ....  | 56 |
| Figura 38 - Comparação do caudal de ponta máximo antes e depois da instalação do sistema LID para $Tr=20$ anos. .... | 56 |

# Lista de tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Valores típicos de permeabilidade.....                               | 18 |
| Tabela 2 – Dados das caixas de visita da Rede 1.....                            | 25 |
| Tabela 3 – Dados das tubagens da Rede 1.....                                    | 25 |
| Tabela 4 – Dados das sub-bacias da Rede 1.....                                  | 26 |
| Tabela 5 - Dados das caixas de visita da Rede 2.....                            | 28 |
| Tabela 6 - Dados das tubagens da Rede 2.....                                    | 29 |
| Tabela 7 - Dados das sub-bacias da Rede 2.....                                  | 30 |
| Tabela 8 - Dados das caixas de visita da Rede 3.....                            | 33 |
| Tabela 9 - Dados das tubagens da Rede 3.....                                    | 34 |
| Tabela 10 - Dados das sub-bacias da Rede 3.....                                 | 35 |
| Tabela 11 - Resumo dos resultados de tempo de concentração.....                 | 52 |
| Tabela 12 - Resumo dos resultados de caudal de ponta máximo.....                | 57 |
| Tabela 13 - Variação do escoamento superficial na Rede 1 para $Tr=10$ anos..... | 58 |
| Tabela 14 - Variação do escoamento superficial na Rede 2 para $Tr=10$ anos..... | 58 |
| Tabela 15 - Variação do escoamento superficial na Rede 3 para $Tr=10$ anos..... | 60 |
| Tabela 16 - Variação do escoamento superficial na Rede 1 para $Tr=20$ anos..... | 61 |
| Tabela 17 - Variação do escoamento superficial na Rede 2 para $Tr=20$ anos..... | 61 |
| Tabela 18 -Variação do escoamento superficial na Rede 3 para $Tr=20$ anos.....  | 62 |
| Tabela 19 - Resumo dos resultados de escoamento superficial.....                | 63 |



# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento do tema

É inegável que a presença humana tem uma grande influência nas alterações dos meios naturais, principalmente em regiões onde existe uma grande aglomeração de pessoas, como nas grandes cidades. Segundo Araújo, Tucci & Goldenfum (2000), a ocupação urbana através de áreas impermeáveis, como telhados, passeios, ruas, estacionamento e outros, altera o ciclo hidrológico em meio urbano, trazendo como resultados o aumento das enchentes urbanas e a degradação da qualidade das massas de águas superficiais e subterrâneas no meio receptor.

Destaca-se, ainda, que chuvas convectivas intensas podem ser agravadas pelos fenómenos de ilhas de calor, que se formam sobre as áreas centrais de superfícies mais urbanizadas. (Miguez, Veról & Rezende, 2015)

De acordo com Broekhuizen, Muthanna, Leonhardt & Viklander (2019), os sistemas de drenagem pluvial tradicionalmente adotados nos meios urbanos são sistemas de drenagem baseados na utilização de tubagens para a rápida remoção da água local, ignorando as possíveis consequências de enchentes e qualidade da água a jusante, além de serem sistemas dispendiosos financeiramente para sua construção e manutenção.

Dessa forma, os sistemas de drenagem sustentável tentam corrigir esses problemas realizando o manejo das águas pluviais de uma forma mais natural (Eckart, McPhee & Bolisetti, 2017).

Como definido pela *Construction Industry Research and Information Association - CIRIA* (2007), os sistemas de drenagem sustentável são um conjunto de técnicas sustentáveis de controlo e gestão das águas pluviais e surgiu como alternativa ao sistema tradicional de drenagem das águas pluviais das áreas urbanas. Este sistema foi concebido para gerir os riscos ambientais do escoamento e contribuir sempre que possível para o aprimoramento do ambiente urbano.

## 1.2. Motivação e objetivos

O estudo aqui apresentado centra-se na avaliação das condições de funcionamento de um sistema de drenagem sustentável do tipo pavimento permeável e sua influência no desempenho da rede de drenagem urbana, recorrendo à aplicação de técnicas de modelação computacional com o auxílio de um software específico para a determinação dos resultados. O caso de estudo refere-se à urbanização dos Capuchos, na cidade de Leiria (Portugal).

Para alcançar esse objetivo geral, importa atingir os seguintes objetivos específicos:

- Efetuar uma revisão da literatura acerca dos tipos de pavimentos permeáveis existentes, assim como seus benefícios e limitações de uso, dos estudos previamente realizados e que servirão de base para o presente estudo e do software *Storm Water Management Model* (SWMM), que foi escolhido para o desenvolvimento da simulação;
- Definir uma metodologia de trabalho que permita caracterizar e avaliar o desempenho do sistema de drenagem sustentável;
- Definir as características da área de estudo buscando informações como área, relevo, intensidade de precipitação, tipo de ocupação do solo, geologia e rede de drenagem existente;
- Desenvolver e validar o modelo do sistema de drenagem existentes para criar parâmetros de base, a partir dos quais será possível avaliar a eficiência da solução proposta;
- Por fim, modelar os cenários de simulação dos sistemas *Low Impact Device* (LID) para a chuvada de projeto e efetuar uma análise comparativa entre os resultados obtidos nesta simulação com a situação de drenagem tradicional existente atualmente.

### **1.3.Estrutura da dissertação**

Para além deste primeiro capítulo que introduz o tema da dissertação, através do enquadramento do problema, os parágrafos seguintes apresentam uma breve descrição do conteúdo presente em cada capítulo.

No capítulo 2, é realizada uma breve revisão bibliográfica descrevendo os diversos tipos de soluções na temática de pavimentos permeáveis existentes atualmente, estabelecendo seus principais benefícios e limitações de utilização. Além disso, será realizada uma breve caracterização dos estudos previamente realizados dentro do tema, com o objetivo de melhor entendimento do funcionamento do sistema. Por fim, será realizado uma caracterização do solo da região e uma descrição do software SWMM, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, que foi escolhido para o desenvolvimento deste estudo.

No capítulo 3, é apresentado o estudo de caso, no qual será realizada a descrição da região de Leiria de forma geral, seguida de uma discretização mais detalhada da urbanização dos Capuchos. Apresentando, posteriormente, os cálculos de precipitação e determinação do tempo de retorno de projeto, assim como os detalhes do processo de modelação dos sistemas de drenagem.

No capítulo 4 apresentam-se os resultados das propostas alternativas estudadas para o sistema de drenagem, tal como os resultados da análise comparativa das mesmas, discretizando as principais vantagens e chegando à conclusão de sua eficiência e viabilidade.

No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões acerca do trabalho desenvolvido, com recomendações de temas para futuros trabalhos relacionados com a aplicação de técnicas de simulação, aplicada ao planeamento de sistemas alternativos de drenagem.

## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1. Impacto da urbanização no tempo de concentração

O desmatamento e a substituição da cobertura vegetal natural são fatores modificadores que, em muitas situações, resultam simultaneamente em redução de tempos de concentração e em aumento do volume de escoamento superficial, causando extravasamento de cursos de água (Pompêo, 2000).

Como enfatizado por Zhu, Yu, Zhu, Lu & Cao (2018) asfalto e betão são largamente utilizados em projetos de pavimentação, sendo que estas áreas impermeabilizadas podem levar a efeitos de ilhas de calor e inundações indesejadas quando a capacidade dos sistemas de drenagem não está apta a lidar com os volumes precipitados.

Tucci (1997) descreve como principais impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico:

- Aumento do escoamento superficial e da vazão máxima dos hidrogramas e antecipação dos picos;
- Redução da evapotranspiração e do escoamento subterrâneo e rebaixamento do lençol freático;
- Aumento da produção de material sólido;
- Deterioração da qualidade das águas superficiais, principalmente no início das chuvas, quando a drenagem de águas carrega material sólido e lava as superfícies urbanas.

Para Butler e Davies (2011), quando a chuvada ocorre sobre uma superfície natural a água pode tomar três caminhos, retornar para a atmosfera por meio de evaporação ou transpiração das plantas, infiltrar no solo se transformando em águas subterrâneas, ou escoar superficialmente. Sendo muito provável que, eventualmente, tanto as águas subterrâneas quanto o escoamento superficial chegarão aos rios próximos, a grande diferença entre esses dois caminhos está no facto de que a água escoada superficialmente chegará ao desagüe muito mais rápido.

Dessa forma, segundo Butler e Davies (2011), fica claro que as superfícies artificiais impermeáveis favorecem um aumento do escoamento superficial em relação à infiltração,

resultando em um pico de caudal com maior volume em um período menor de tempo, como pode ser observado na Figura 1. Vale destacar, também, que uma redução na infiltração se reflete em menor recarga dos aquíferos subterrâneos.

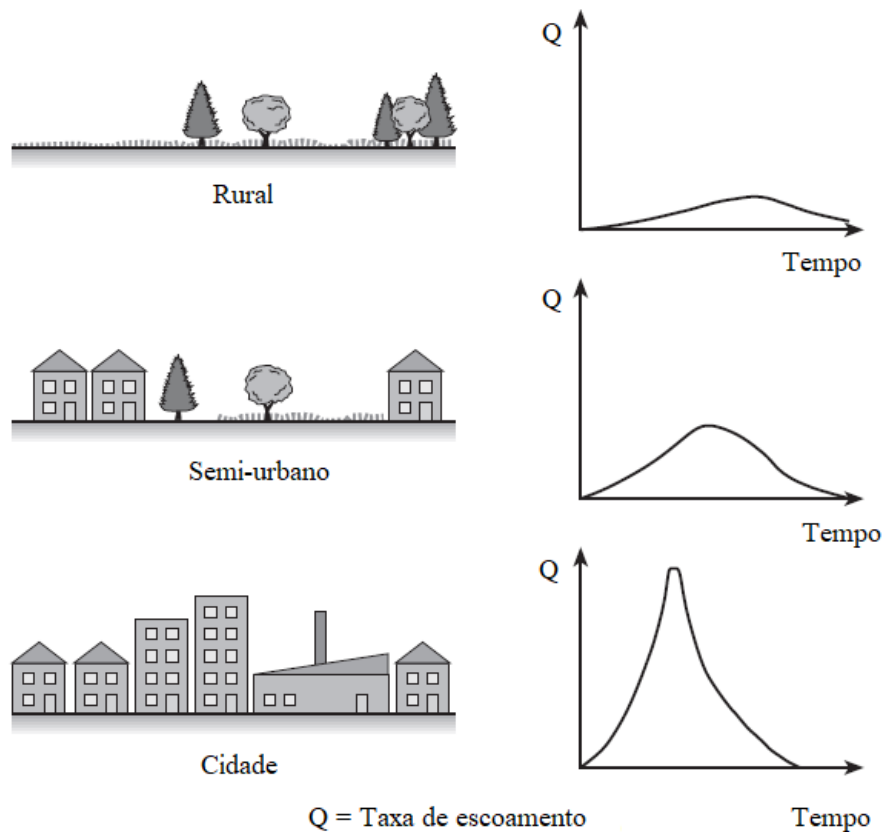


Figura 1 - Efeito da urbanização no pico de escoamento superficial.  
(Adaptado de Butler e Davies, 2011)

## 2.2. Pavimentos permeáveis

### 2.2.1. Tecnologias e sistemas de pavimentos permeáveis

Por definição de CIRIA (2007), pavimentos permeáveis proporcionam um sistema de pavimentação adequado tanto para peões quanto para veículos, permitindo que a precipitação das chuvadas se infiltre superficialmente em direção às camadas inferiores, onde a água pode ser temporariamente armazenada antes de seu destino final, que pode ser a infiltração, reutilização ou descarga em um corpo hídrico ou outro sistema de drenagem no início de seu traçado.

Segundo EPA (2010, 2015), as camadas de um sistema de pavimentos permeáveis são, genericamente, camada superficial, camada de solo e camada de armazenamento, Figura 2.

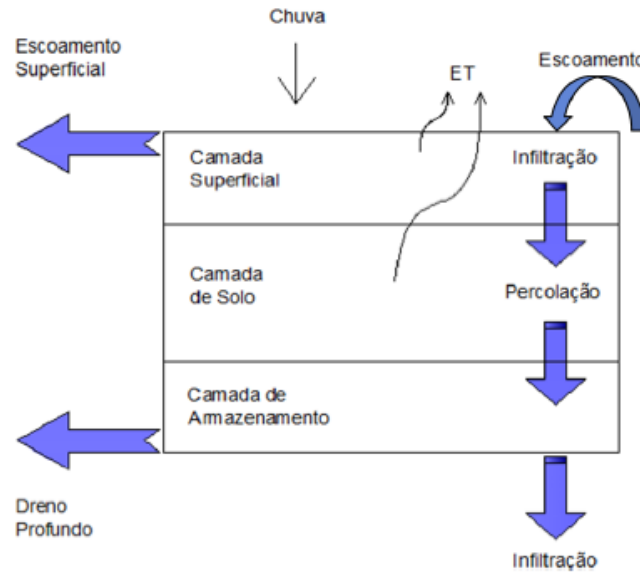


Figura 2 – Representação conceitual de um controle LID.  
(EPA, 2010, 2015)

De forma mais detalhada, a seção tipo de um pavimento permeável consiste no revestimento poroso, camada de assentamento, base e sub-base, tubulação de drenagem, quando necessário, e subleito (Associação Brasileira de Cimento Portland [ABCP], 2010).

Como apresentado pela EPA (2010, 2015), a **camada superficial** indica a parcela que recebe diretamente a precipitação e o escoamento das áreas de montante, armazena o excesso de afluência em depressões, e gera escoamentos que afluem para o sistema de drenagem ou para áreas de jusante. É nesta camada que se encontra o revestimento de blocos de pavimentação e material de preenchimento, para o caso de sistemas modulares, ou betão/asfalto poroso.

Os revestimentos devem ser dimensionados de modo que a taxa de infiltração da sua superfície exceda significativamente a intensidade da chuva de projeto para evitar acúmulo de água (CIRIA, 2015).

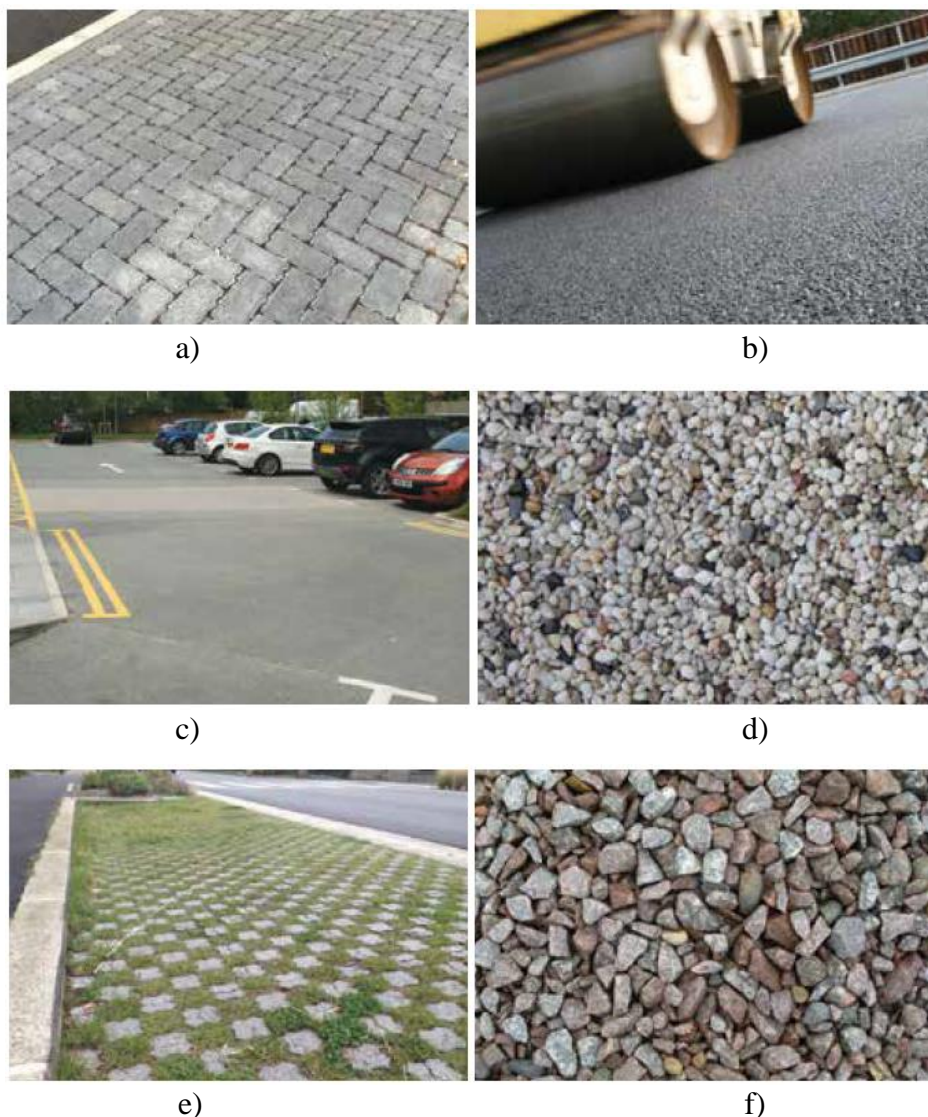
O manual desenvolvido por CIRIA (2015), apresenta uma diferenciação entre dois tipos de revestimentos de acordo com seu princípio de funcionamento:

- Revestimento permeável - Possui uma superfície impermeável, porém é arranjado de tal forma que espaços vazios sejam criados entre as peças, por meio de preenchimento diferenciado das juntas, permitindo o escoamento da água para as camadas inferiores, um exemplo adequado são blocos com juntas alargadas. A título

de conhecimento a Interpave (2013) utiliza um agregado angular ao invés da areia como é feito em sistemas tradicionais.

- Revestimento poroso – É aquele que a água se infiltra por entre os poros presentes em toda a superfície do material, como betão ou asfalto poroso. Esta característica é obtida por meio da omissão dos agregados finos, nomeadamente areia, na mistura da composição do elemento.

O guia CIRIA (2017), indica os tipos de superfície usualmente utilizados como revestimento para esta tecnologia, entre eles estão os blocos de pavimento permeável, asfalto poroso, betão poroso, gravilha ligada por resina, grama reforçada e gravilha. Os exemplos de superfície citados são apresentados na Figura 3.



**Figura 3 – Diferentes tipos de superfícies: a) blocos de pavimento permeável; b) asfalto poroso; c) betão poroso; d) gravilha ligada por resina; e) grama reforçada; f) gravilha. (CIRIA, 2017)**

Em caso de betão poroso, este necessita possuir uma resistência à compressão tipicamente entre 3 MPa e 27 MPa, e uma porosidade entre 15% e 25% (CIRIA, 2015).

A **camada de solo** consiste em uma camada de areia com o objetivo de proporcionar filtração e base de acomodação para uma camada de revestimento de blocos de betão (EPA, 2010, 2015).

Além de permitir o livre escoamento da precipitação por entre seus poros, esta camada precisa ter resistência suficiente para suportar a movimentação entre blocos adjacentes. É sugerido que o fabricante do sistema de pavimento permeável seja sempre consultado com o objetivo de se conhecer o tipo de material mais adequado para cada sistema. Esta camada deve ser acompanhada de um elemento geotêxtil que permita a passagem de água e evita o carregamento de materiais finos (CIRIA, 2015).

A **camada de armazenamento**, por sua vez, representa a base e sub-base do pavimento, formado por um leito de brita, seixo ou cascalho usado para a retenção da precipitação no intervalo de tempo entre a entrada no sistema e a saída por infiltração ou destinação final por drenos (EPA, 2010, 2015).

CIRIA (2015) entende que a **sub-base** do pavimento deve ter uma porosidade mínima de 30% e uma permeabilidade superior a  $6 \times 10^{-2}$  m/s. Por estar em contato com água por longos períodos de tempo, a influência dos ciclos de saturação e secagem devem ser considerados na escolha do material. Vale lembrar que materiais recicláveis podem ser utilizados como preenchimento da camada de sub-base, contanto que satisfaçam os requisitos técnicos adequados.

Em determinados casos, os agregados do pavimento podem ser substituídos por sistemas de sub-base geocelular (Figura 4), que proporcionam maior capacidade de armazenamento (superior a 90%), porém deve ser dada atenção à necessidade de reforço na camada de geotêxtil para garantir tratamento adequado do escoamento (CIRIA, 2015).



**Figura 4 – Pavimento de bloco permeável com sistema de sub-base geocelular.**  
(Interpave, 2013)

Quando justificável, pela presença de solos com baixa permeabilidade ou baixa resistência, **drenos** devem ser instalados na camada de armazenamento, que devido ao facto de a água ter sido filtrada apresentam baixos riscos de obstrução o que resulta na utilização de diâmetros reduzidos, no mínimo 20 mm. Além disso deve ser feita a impermeabilização total do dispositivo de retenção por meio da utilização de membrana impermeável, que deve ser resistente o suficiente para suportar o manuseio de construção, as cargas de serviço e a ação de poluentes (CIRIA, 2015).

Como exposto por CIRIA (2015), **subleito** é a camada de solo natural acima do qual a estrutura do pavimento se sustentará, portanto, deverá apresentar condições de dissipação de carga adequadas, considerando a situação de saturação que ocorre enquanto a precipitação se infiltra livremente.

Uma característica extremamente importante para o sistema de pavimentos permeáveis é a limitação da declividade. Como especificado por Interpave (2013), o gradiente máximo na superfície do pavimento deve ser por volta de 5%, o que deve ser respeitado para garantir que a água presente na sub-base não escoe rapidamente para os pontos mais baixos causando transbordamento e diminuição da capacidade de armazenamento, como representado na Figura 5.

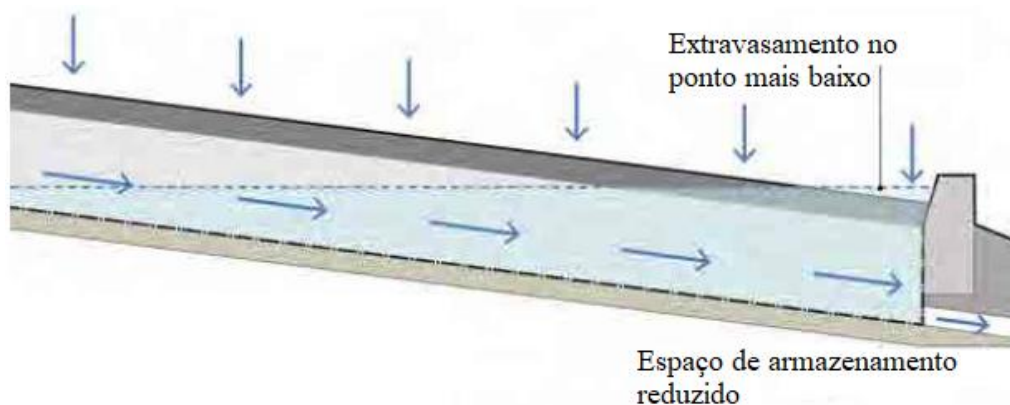


Figura 5 – Representação do problema causado por declividade excessiva.  
(Adaptado de CIRIA, 2015)

A Interpave (2013) indica quatro possíveis soluções para utilização em declividades superiores a 5%:

- Uso de material geocelular de alta capacidade de armazenamento na parte inferior da declividade para aumentar o volume estocado;
- Aumento da espessura de sub-base para compensar o volume de armazenamento perdido na parte superior do declive;
- Instalação de represas dentro da sub-base do pavimento, com tubagens de drenagem para garantir que a água não flua para os pontos mais baixos gerando transbordamento (Figura 6);

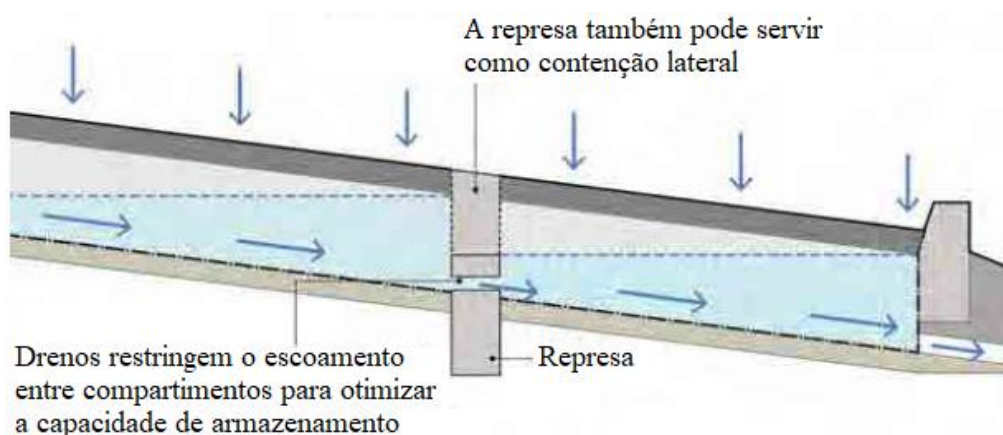


Figura 6 – Representação da solução por represamento interno.  
(Adaptado de CIRIA, 2015)

- Criação de terraços no local, formando trechos de área plana onde o pavimento será implantado com camadas de armazenamento separadas (Figura 7).

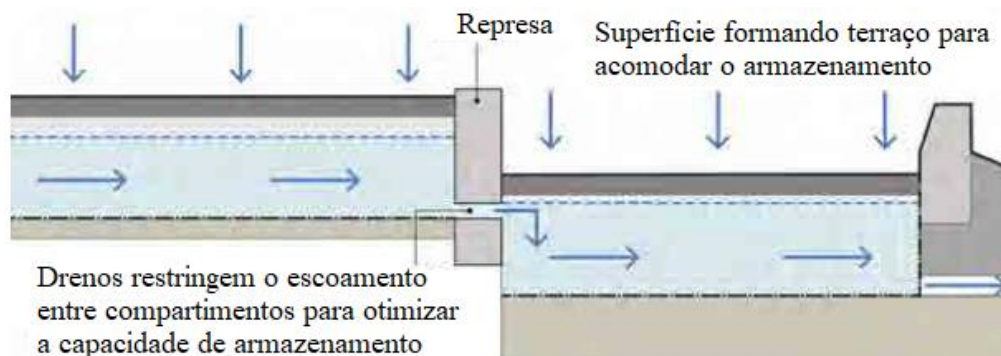


Figura 7 - Representação da solução por criação de terraços.  
(Adaptado de CIRIA, 2015)

EPA (1999) comenta que pavimentos com revestimento poroso precisam de manutenção constante para evitar colmatção. Este processo deve ocorrer por meio de varredura a vácuo, pelo menos quatro vezes ao ano, seguido de jateamento de alta pressão para liberação dos poros superficiais. É indicado, ainda, que o pavimento seja inspecionado várias vezes durante os primeiros meses pós-instalação e posteriormente passando a vistorias anuais e na sequência de chuvas intensas.

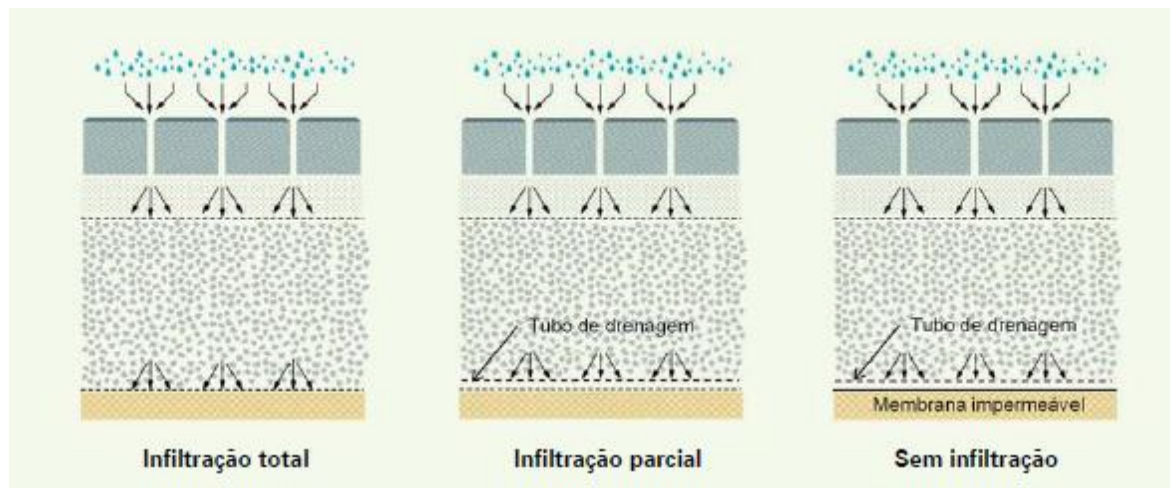
### 2.2.2. Sistemas de infiltração

O manual CIRIA (2015), apresenta três principais tipos de sistemas de infiltração em pavimentos permeáveis, sendo eles:

- Infiltração total – consiste em um sistema onde todo o volume de água armazenado no reservatório passa para a camada de sub-base onde se infiltra para as camadas mais profundas do solo.
- Infiltração parcial – representa um sistema no qual a precipitação que excede a capacidade de infiltração do solo é direcionada para um dreno de coleta, fornecendo assim, dois caminhos de saída do reservatório. Por diminuir o acúmulo de água acima do sub-solo, o risco de instabilidade do solo é reduzido.
- Sem infiltração – Neste sistema, a infiltração não é permitida por meio da implementação de uma membrana flexível e impermeável entre o reservatório e a sub-base, sendo o volume de precipitação totalmente redirecionado por drenos. Este sistema pode ser usado em diferentes situações como existência de solo pouco permeável ou que possa ter sua capacidade resistente muito reduzida pela presença

de água, evitar a contaminação do solo e de aquíferos subterrâneos caso seja necessário, entre outras.

A Figura 8, faz uma demonstração gráfica dos sistemas de infiltração mencionados acima.



**Figura 8 – Sistemas de infiltração.**  
(ABCP, 2010)

### 2.2.3. Vantagens e desvantagens

É imprescindível o destaque das vantagens dos pavimentos permeáveis, por serem estes fatores que viabilizam a sua utilização, sendo alguns deles demonstrados pela ABCP (2011):

- Melhoria na segurança e conforto pois há redução na formação de poças de água e consequente melhoria da aderência;
- No caso de pavimentos de infiltração, observam-se ganhos ambientais, com a possibilidade de recarga de reservas subterrâneas;
- No caso de pavimentos porosos, ocorre a melhoria da qualidade das águas por ação de filtração no corpo do pavimento;
- Destacam-se benefícios financeiros, associados à redução das dimensões do sistema de drenagem de jusante.

Schueler (1987) destaca ainda, talvez a principal vantagem do pavimento permeável, a redução significativa do volume de escoamento superficial, e o consequente amortecimento dos picos de cheia e aumento do tempo de concentração da sub-bacia.

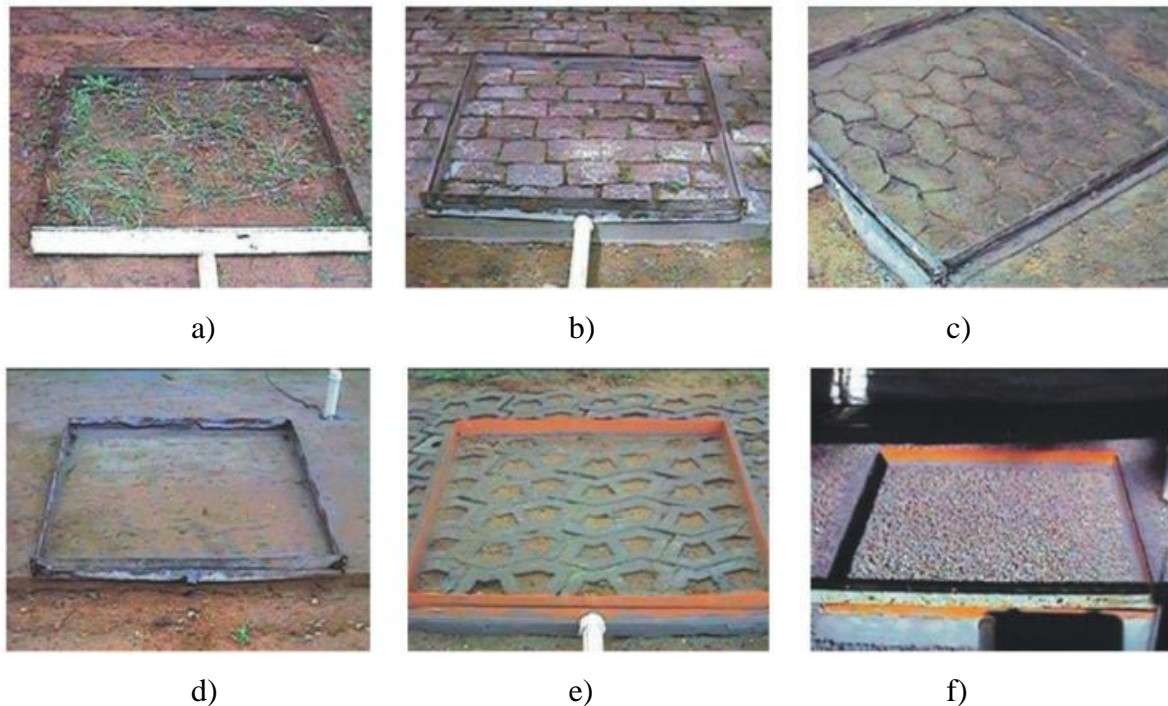
Tão importante quanto as vantagens, é a necessidade de se identificar as desvantagens deste sistema. A EPA (1999) apresenta de forma sucinta algumas destas desvantagens:

- Pouca perícia dos engenheiros e construtores da área de pavimentos em relação à tecnologia;
- Tendência de obstrução do pavimento permeável se instalado ou mantido de forma inadequada;
- Pavimento permeável tem alto risco de falha (devido ao fenómeno da colmatção);
- Existe o risco de contaminação dos aquíferos subterrâneos, dependendo das condições do solo e da suscetibilidade do aquífero;
- Este sistema não é dimensionado para o tratamento de combustíveis e produtos químicos tóxicos que possam escorrer sobre a superfície do asfalto.

### **2.3. Casos de estudo publicados na literatura**

Araújo, Tucci & Goldenfum (2000) realizaram uma simulação experimental utilizando um simulador de chuva em módulos de 1 m<sup>2</sup> para seis diferentes tipos de pavimentos com o objetivo de avaliar sua eficiência na redução do escoamento superficial (Figura 9). As superfícies estudadas foram:

- Solo compactado;
- Pavimento semi-permeável, com dois módulos, um formado por blocos de granito com juntas de areia e outro por blocos de betão industrializado e juntas de areia;
- Pavimento impermeável, na forma de betão convencional;
- Pavimento permeável, também com dois módulos, feito de blocos de betão vazados e preenchidos com material granular, sendo o outro feito de betão poroso.



**Figura 9 – Módulos utilizados: a) solo compactado; b) blocos de granito; c) blocos de betão industrializado; d) betão convencional; e) blocos de betão vazados; f) betão poroso. (Araújo, Tucci & Goldenfum, 2000)**

A chuvada simulada teve como características uma duração de 10 minutos, tempo de retorno 5 anos e intensidade de 111,9 mm/h. A partir dos resultados, apresentados na Figura 10, foi possível concluir que os pavimentos permeáveis praticamente não geraram escoamento superficial, resultando na manutenção ou melhoria das condições originais de escoamento superficial. Devido às limitações de resistência e possíveis problemas de manutenção, o estudo recomenda restringir a aplicação da tecnologia em passeios e estacionamento para veículos leves.

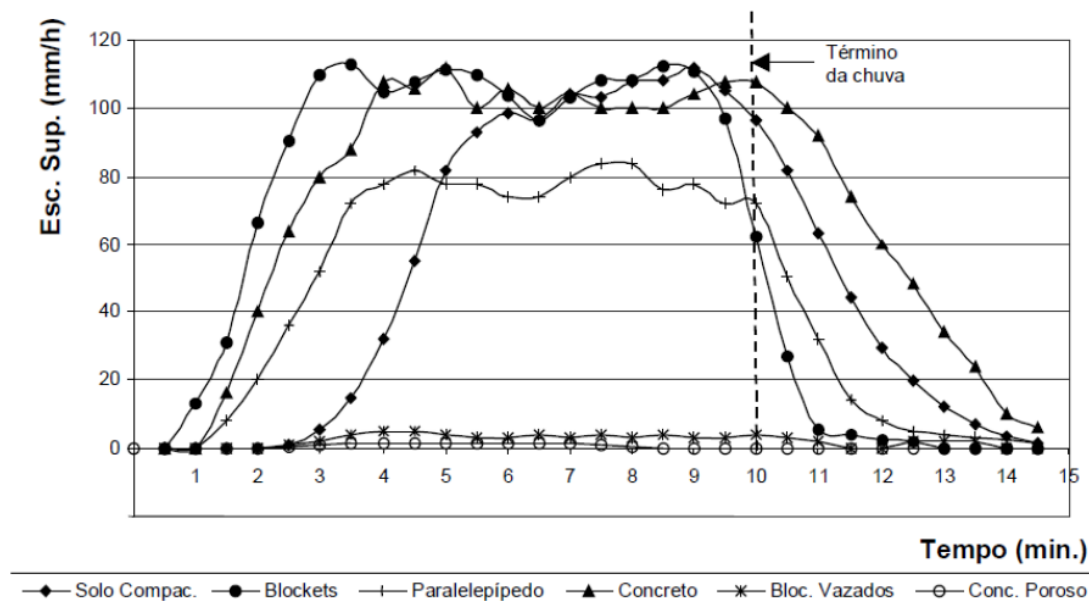


Figura 10 – Resultados obtidos através da simulação, para chuva com tempo de retorno 5 anos. (Araújo *et al.*, 2000)

Wang, Li, Abdelhady & Harvey (2018) fizeram um estudo no qual propuseram um modelo básico de avaliação do impacto ambiental de pavimentos permeáveis, de betão e asfalto, utilizando o conceito do ciclo de vida destes elementos. Foram estudados os impactos considerados na inundação urbana, reutilização e purificação da água precipitada. Os resultados indicam que, para os 10 km da estrada modelada, a utilização desses sistemas permitiu poupar o consumo de 49 TJ de energia, 6700 t de emissões de dióxido de carbono, 0,1 t de chumbo e 1 t de emissões de zinco.

Sun, Guo, Wang & Ning (2019) estudaram a resposta dinâmica de pavimentos de asfalto permeável não saturados submetidos a uma carga móvel. A análise foi feita com base em uma série de modelações numéricas utilizando a metodologia de elementos finitos do pavimento, o que permitiu a combinação dos efeitos de carga, água e espaços vazios, e focou em obter resultados de tensão vertical e transversal, pressão de água no interior dos poros e deslocamento vertical. O estudo conclui que, em situações não saturadas o pavimento apresenta boas condições de funcionamento para os parâmetros analisados, porém situações saturadas podem induzir fissuração e outras patologias no pavimento. Por fim, o artigo reitera a importância do sistema de drenagem interno do pavimento para o funcionamento durante sua vida útil e defende que pavimentos permeáveis devem ser considerados com mais frequência como solução de construção de estradas.

Zhou (2014) publicou um estudo de revisão considerando a relação entre os *Sustainable Urban Drainage Systems* - SUDS e os impactos das mudanças climáticas e da urbanização, a partir do qual foi possível concluir que apesar da atenção que esses sistemas têm recebido, devido aos seus benefícios ambientais, a utilização dos SUDS se mostra uma tarefa muito desafiadora. Entre os problemas destacados estão a limitação, apresentada pelos métodos de modelação, de representação da resposta quantitativa e qualitativa dos dispositivos e a tendência de se ignorar o facto de ser uma tecnologia que envolve diferentes áreas de conhecimento, o que pode gerar a desconsideração de alguns aspetos importantes de impacto. Por fim, é destacado que a falta de experiência na operação e manutenção de SUDS pode resultar em um funcionamento inadequado do sistema.

Zhou (2014) recomenda, ainda, que o planeamento das unidades deve levar em consideração todo o ciclo urbano da água, sendo as mudanças climáticas e urbanísticas consideradas na fase de dimensionamento para adaptar o sistema a possíveis situações futuras.

## **2.4. Caracterização do solo**

Devido ao facto de se considerar a potencial contribuição da infiltração de água nos solos, é necessário o conhecimento de suas características geológicas. Para tanto, foi utilizado como estudo inicial a Carta Geológica de Portugal fornecida pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia - LNEG, nomeadamente a Folha 23-C - Leiria (Teixeira *et al.*, 1968), que apresenta os dados de levantamento geológico para a região estudada, que compreende a zona dos Capuchos no município de Leiria, Portugal.

Como é possível observar na Figura 11, a área de estudo é composta por unidades geológicas como margas da Dagorda e calcários dolomíticos, com presença de aluviões, depósitos de terraços e rochas magmáticas do tipo doleritos.



Figura 11 - Esboço da Carta Geológica de Portugal, Folha 23-C de Leiria, escala 1:50000. (Teixeira *et al.*, 1968)

As aluviões são depósitos modernos que se distribuem ao longo das linhas fluviais presentes na região (Teixeira *et al.*, 1968), com espessuras que podem ser superiores a 9 metros, compostos predominantemente por argilas silto-arenosas (Veiga, 2012).

Segundo o Relatório Geotécnico A (2010), os depósitos de terraços de rios encontrados na zona em estudo são caracterizados por areias siltosas e argilo-siltosas, com seixos, de granulometria em geral fina a média, podendo ser média a grossa em determinados locais, e de cor vermelha alaranjada a acastanhada.

Referente à Formação da Dagorda, constituída por margas e calcários dolomíticos, são constituídas, na zona, por argilas e siltes, sendo por vezes margosas e, com menos frequência, com gesso, salgema e rochas calcárias (Veiga, 2012). Segundo o Relatório

Geotécnico A (2010), na zona em estudo a litologia mais abundante são as margas da Dagorda sendo pouco frequentes os calcários.

Os doleritos na região de Leiria são caracterizados por uma grande variedade de corpos magmáticos aflorantes, com diversos níveis de fracturação e alteração, sendo classificados como muito alterados a decompostos com distribuição muito irregular (Veiga, 2012). Na zona em estudo afloram dois corpos de rocha magmática, um identificado da carta geológica e o outro não. Este último não está representado na carta geológica muito provavelmente porque não era visível a quando da realização dos trabalhos conducentes à construção da mesma. Os corpos magmáticos de composição dolerítica da zona de estudo se apresentam muito fraturados e muito alterados. A fracturação conduz à fragmentação da rocha, enquanto a alteração à arenização e argilização da mesma, ocorrendo ambas em simultâneo nos corpos aflorantes.

Tendo em atenção as descrições dos materiais geológicos aflorantes pretendeu-se averiguar do seu grau de permeabilidade. Na Tabela 1, apresentam-se os valores característicos de infiltração para diferentes tipos de solo, que serão considerados como base para a simulação da influência desse fenómeno na capacidade de armazenamento.

**Tabela 1 - Valores típicos de permeabilidade.**  
(Das, 2006)

| Tipo de solo          | Permeabilidade (m/s) |
|-----------------------|----------------------|
| <b>Cascalho limpo</b> | 1 – 0,01             |
| <b>Areia grossa</b>   | 0,01 – 0,0001        |
| <b>Areia fina</b>     | 0,0001 – 0,00001     |
| <b>Silte argiloso</b> | 0,00001 – 0,0000001  |
| <b>Argila</b>         | < 0,00000001         |

## 2.5. Software

O software utilizado no desenvolvimento deste estudo foi o *Storm Water Management Model* (SWMM), desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency* (EPA), que o descreve como um modelo de simulação de chuvada-escoamento superficial dinâmico utilizado para simular a quantidade e qualidade da água escoada, principalmente em áreas urbanas, em eventos hidrológicos isolados ou contínuos (EPA, 2015).

A análise do escoamento superficial é realizada de forma que a área de estudo é dividida em sub-bacias homogêneas e menores, cada qual possuindo suas características particulares que

recebem a precipitação e geram o escoamento, tendo em conta uma série de processos hidrológicos como evaporação de águas empoçadas, infiltração de água nas camadas não saturadas do solo e captação e retenção das precipitações e dos escoamentos em diversos dispositivos LID.

Segundo o Manual do software, os dispositivos de controle LID são representados como uma combinação de camadas verticais cujas características são definidas por unidade de área, o que possibilita a utilização de um LID com o mesmo dimensionamento em áreas diferentes, facilitando sua aplicação em diferentes sub-bacias.

Entre os possíveis tipos de controles LID modelados no SWMM estão as células de bio-retenção, telhados verdes, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, entre outros.

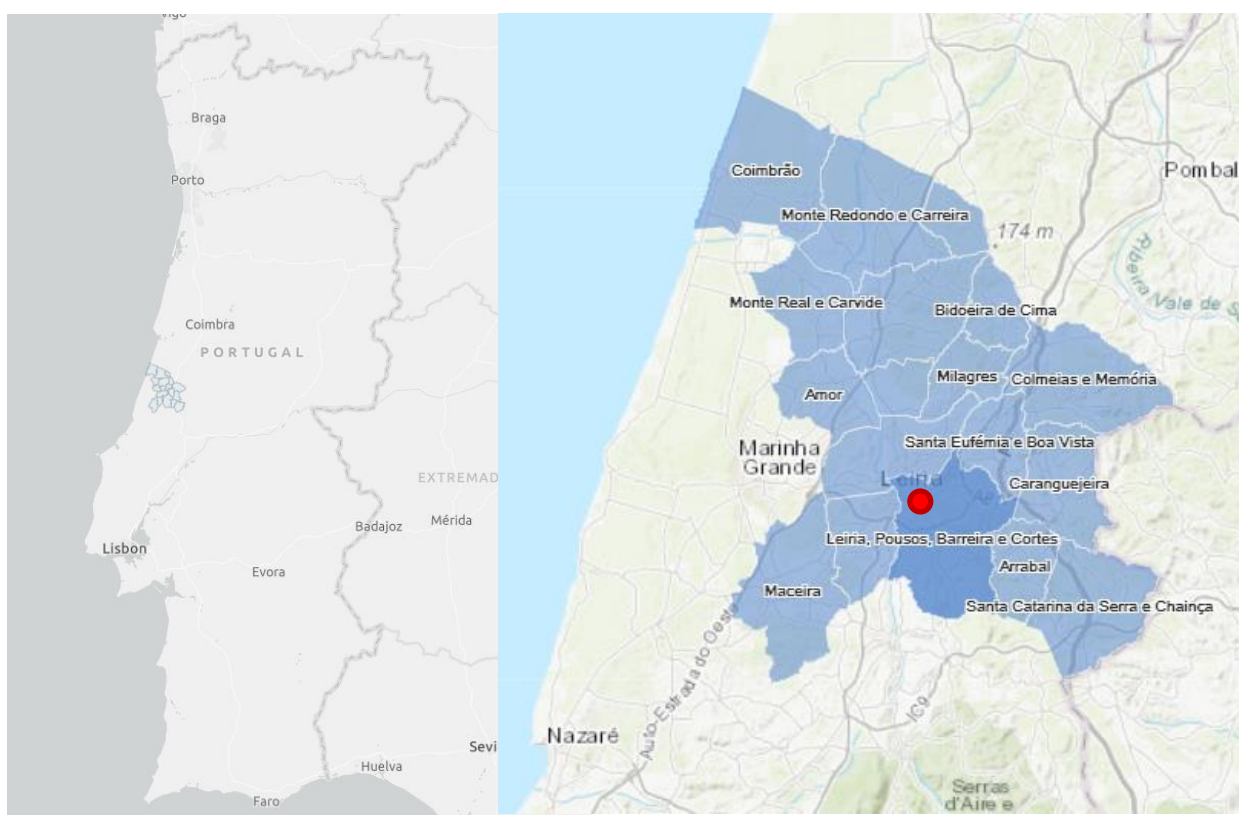
Além disso, o SWMM também contém diversas possibilidades que permitem uma ampla análise referente à modelação hidráulica, pois considera todo o processo desde a captação da água proveniente do escoamento superficial, e outros fluxos considerados, seguido da destinação para o conjunto de tubagens, canais, unidades de armazenamento ou tratamento, entre outros possíveis componentes da rede de drenagem, chegando ao emissário que é utilizado para definir as condições de contorno finais.

Desde a sua criação, em 1971, o software tem sido utilizado como base para desenvolvimento de diversos estudos hidrológicos e hidráulicos de caráter tanto acadêmico, quanto prático, podendo ser destacado a conceção e dimensionamento de componentes da rede de drenagem para controle de inundação, a delimitação de zonas de inundação em leitos naturais, a determinação de instrumentos de retenção, e os seus componentes, para controle de inundações e proteção da qualidade da água do corpo recetor, entre outras aplicações.

## 3. Caso de estudo

### 3.1. Localização geográfica

Fundada por D. Afonso Henriques no ano de 1145, a cidade de Leiria se localiza próxima da costa ocidental, na região centro de Portugal Continental (Figura 12), apresentando um clima temperado com características mediterrâneas, temperaturas médias compreendidas entre os 9,5°C e os 19,4°C, sendo os meses de julho e agosto os mais quentes e janeiro o mês mais frio (Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas [EMAAC], 2017).



**Figura 12 – Localização do Conselho de Leiria.  
(Câmara Municipal de Leiria, 2011)**

Segundo a EMAAC (2017) de Leiria, os meses com maior precipitação média são os meses de inverno, sendo janeiro, em média, o mês mais chuvoso, onde se registam precipitações médias da ordem dos 136 mm.

Ainda de acordo com a EMAAC (2017) de Leiria, julho e agosto registam os valores mais baixos em termos de precipitação total, com médias mensais da ordem dos 4,8 mm e 10,5 mm.

De acordo com dados da Câmara Municipal de Leiria, o concelho conta com uma área de 565 km<sup>2</sup>. O Censo de 2011, realizado pelo Instituto Nacional de Estatística (2011), mostra que a população no concelho de Leiria é de 126.897 habitantes, o que representa um aumento de 5,88%, face ao Censo de 2001. Importa ainda destacar que entre os anos de 1995 e 2010 houve um aumento de 26% da população na área definida como zona urbana (Câmara Municipal de Leiria, 2011), fator que reforça a importância deste estudo no contexto do desenvolvimento sustentável do concelho.

### 3.2. Descrição da zona de estudo

O estudo incidiu na zona abrangida pela Urbanização dos Capuchos, Figura 13, próximo do centro Histórico da cidade de Leiria (Portugal). Esta área foi escolhida por se tratar de uma zona urbana consolidada onde são conhecidas as características da rede de drenagem, o que, somado às características fisiográficas da bacia de drenagem, constituem uma área de estudo para a qual é possível fazer uma análise detalhada do desempenho integrado da utilização de pavimentos permeáveis e da rede de drenagem existente.

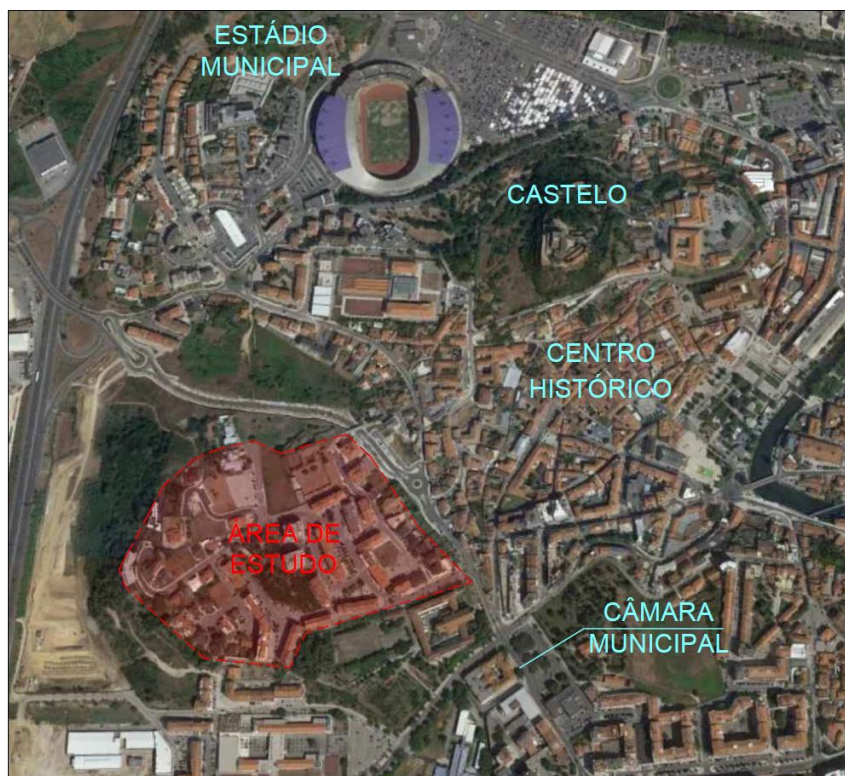
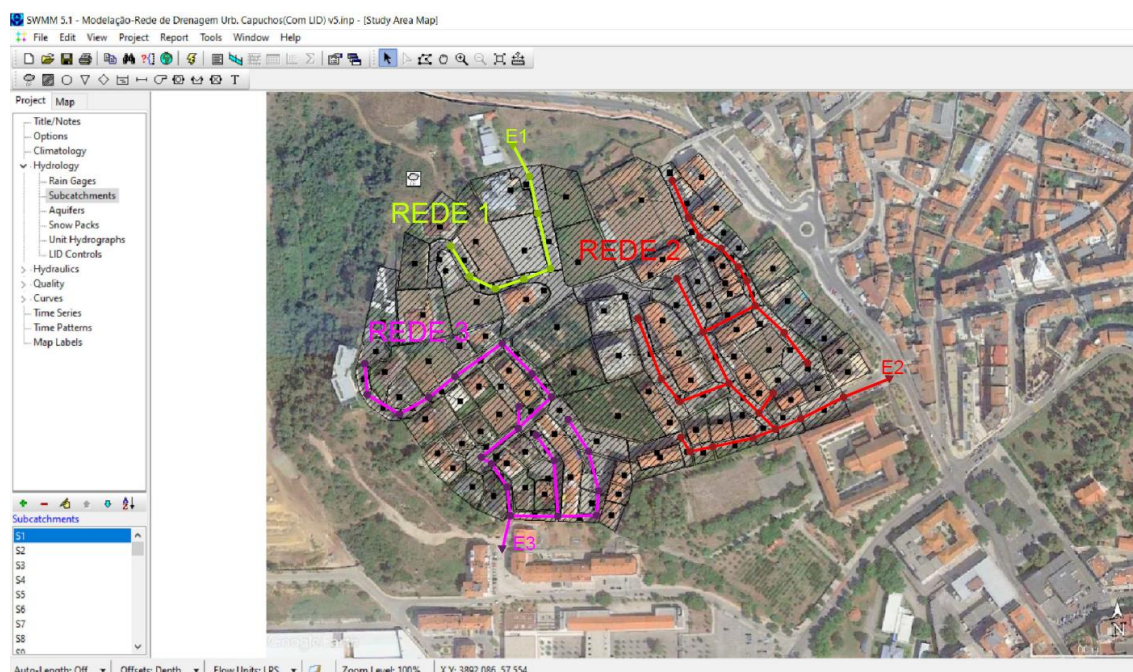


Figura 13 - Localização da área de estudo.  
(Adaptado de Google Earth, 2018)

A sub-bacia da zona estudada conta com uma área total de 10,82 hectares, dos quais 62% (6,72 ha) são ocupados por edifícios correntes, 31% (3,32 ha) são cobertos com pavimento betuminoso e passeios e 7% (0,79 ha) por zonas verdes ou permeáveis. Próximo à área de estudo existem duas bacias hidrográficas de grande importância para a região, a bacia hidrográfica do rio Lis, na qual está inserida, com área total de 85.000 hectares, e a bacia hidrográfica do rio Lena, que é um dos afluentes do rio Lis, com área total igual a 18.900 hectares.

O relevo na zona de estudo é bastante acidentado, com parcelas do terreno com declividades na ordem dos 20%, e parcelas praticamente planas. A zona é de ocupação predominantemente residencial, com diversidade de edificações unifamiliares e multifamiliares. Duas ocupações importantes que se destacam do padrão são a unidade escolar e o parque de estacionamento. Algum comércio também é encontrado no local, mas sem grande expressividade.

A rede de drenagem existente na área de estudo apresenta três pontos de saída distintos, indicados por E1, E2 e E3 na Figura 14, que ligam a rede da zona estudada com outros troços do sistema urbano de drenagem. Esta distinção entre os pontos de saída permite definir três subsetores da rede, cujas características são apresentadas mais à frente – onde se faz também referência à sub-bacia de drenagem, tubagens e características de infiltração do solo, que são fatores determinantes para a modelação.



**Figura 14 - Separação da rede de drenagem.**  
(Adaptado de SWMM, 2020)

No que se refere ao grau de permeabilidade do solo, este foi aferido tendo por base a natureza geológica dos materiais aflorantes (rocha magmática, argilas e calcários margosos). A rocha magmática por se encontrar muito alterada e fraturada foi considerada permeável, as argilas foram consideradas como impermeáveis e os calcários margosos que se encontram em camadas de fraca espessura e por vezes carsificados foram considerados com comportamento semi-permeável.

Com base em uma inspeção visual realizada na área de estudo, foi possível delimitar de forma mais precisa as unidades geológicas que têm mais influência nas diferentes redes de drenagem existentes na zona de estudo. O resultado desta inspeção pode ser observado na Figura 15.

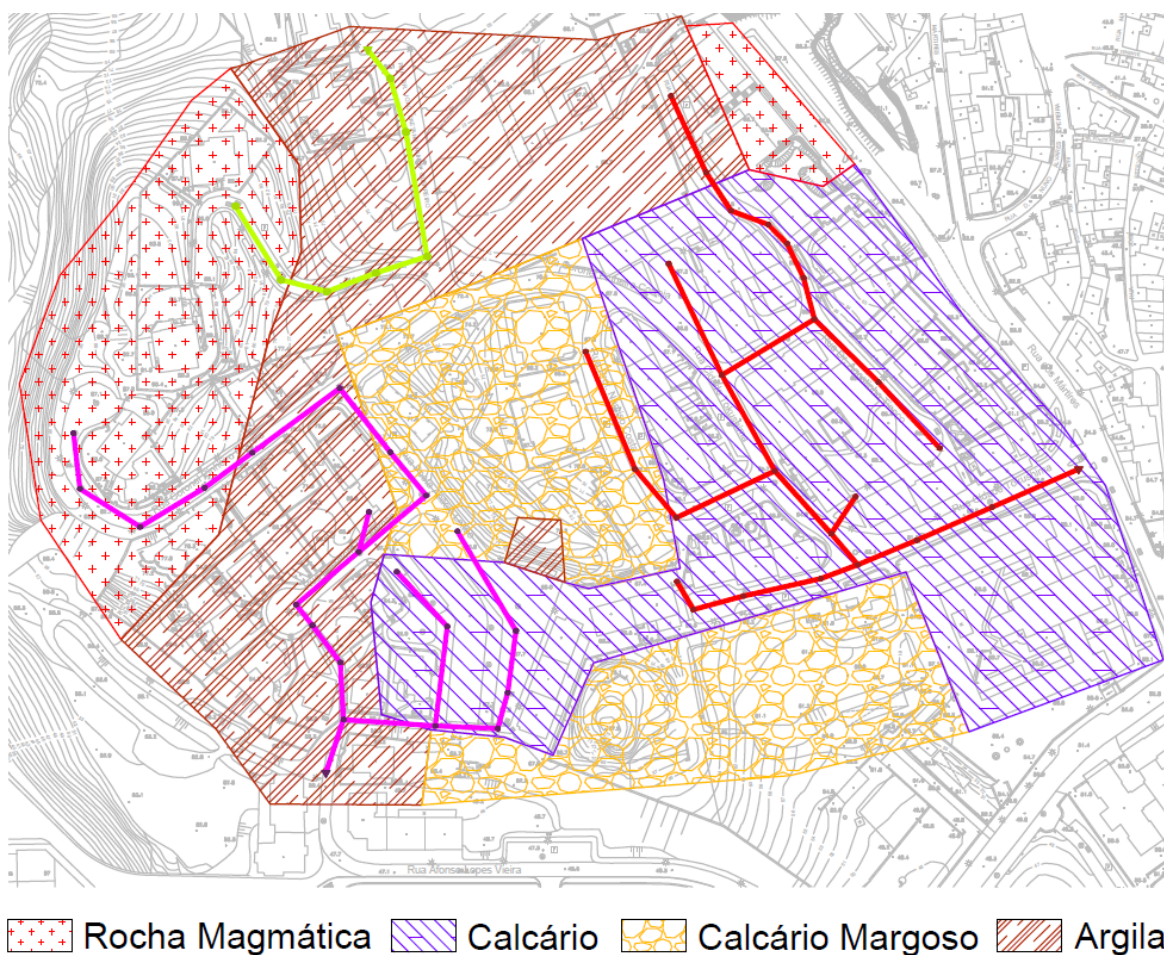


Figura 15 - Delimitação das unidades geológicas.

A partir da Figura 15 e dos dados de permeabilidade apresentados na revisão, é possível descrever a relação entre os tipos de solo encontrados e os respetivos coeficientes de permeabilidade adotados, sendo eles:

- 
- Rocha magmática alterada muito fraturada:  $10^{-2}$  m/s (permeabilidade alta);
  - Rocha calcária:  $10^{-5}$  m/s (permeabilidade média);
  - Rocha calcário margoso:  $10^{-7}$  m/s (permeabilidade baixa);
  - Argilas:  $10^{-9}$  m/s (permeabilidade muito baixa).

### **3.2.1. Rede 1**

A Rede 1, apresentada na Figura 16, abrange uma área de 2,3 hectares e engloba as ruas Dr. Afonso de Sousa e Dr. João Caetano Nunes Guerreiro. As Tabelas 2, 3 e 4 expõem, respetivamente, as informações fornecidas pelo Gabinete de Infraestrutura da Câmara Municipal de Leiria referente às caixas de visita, tubagens da rede de coletores e divisão das sub-bacias de drenagem, com indicações de áreas e inclinações.

No que se refere às sub-bacias de drenagem, estas resultaram da análise do loteamento do terreno, sendo na sua maioria residencial, com exceção das sub-bacias S13 e S16, que representam na devida ordem, um parque de estacionamento e uma unidade escolar. É importante destacar que os lotes sem ocupação foram considerados edificados, admitindo assim uma possível edificação futura, e os terrenos foram considerados terraplanados para simular condições de construção, portanto foi considerado um declive de 1%.

Por fim, as sub-bacias indicadas como pavimento/passeio se referem às áreas que atualmente são destinadas aos passeios e vias públicas e que serão substituídas pelo sistema de pavimento permeável na modelação/simulação e, portanto, apresentam as declividades encontradas *in loco*.

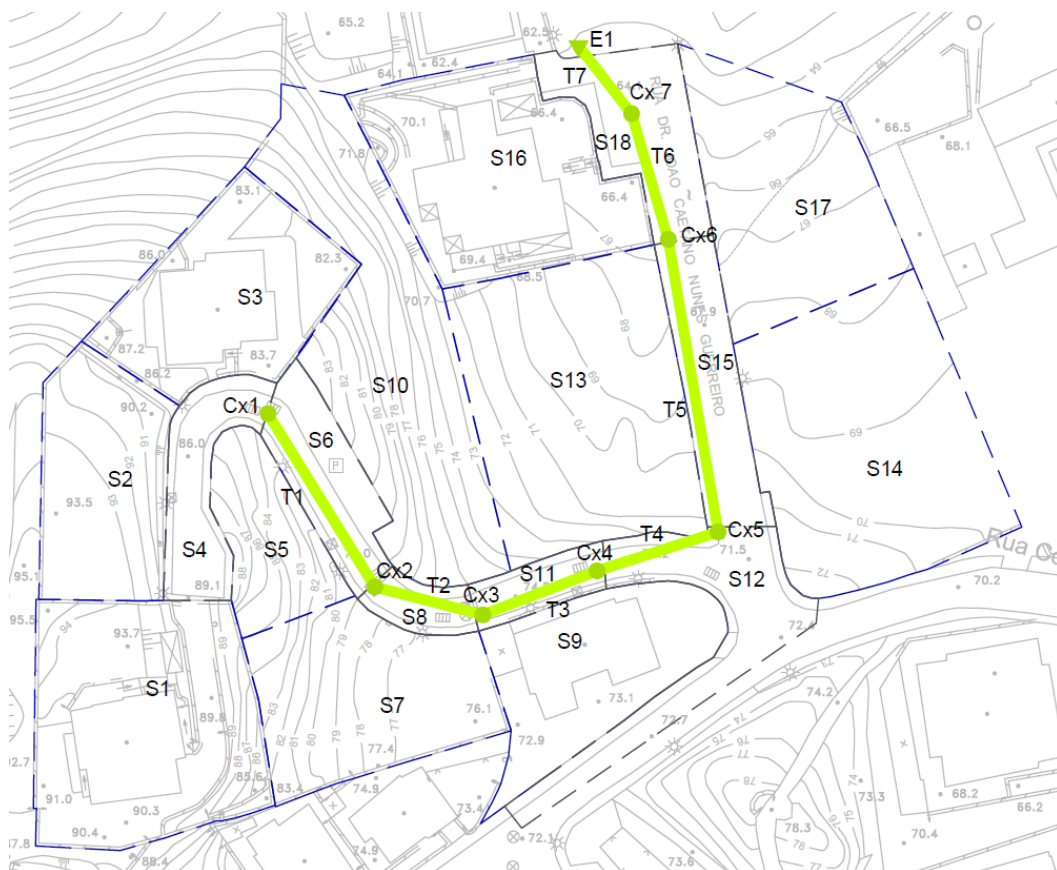


Figura 16 - Representação de dados referentes a Rede 1.  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)

Tabela 2 – Dados das caixas de visita da Rede 1.  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)

| Caixa de Visita | Cota Terreno (m) | Profundidade (m) | Cota de Soleira (m) |
|-----------------|------------------|------------------|---------------------|
| Cx1             | 83,70            | 1,40             | 82,30               |
| Cx2             | 79,00            | 1,40             | 77,60               |
| Cx3             | 76,10            | 1,40             | 74,70               |
| Cx4             | 73,50            | 1,40             | 72,10               |
| Cx5             | 71,50            | 1,40             | 70,10               |
| Cx6             | 66,80            | 1,40             | 65,40               |
| Cx7             | 64,30            | 1,40             | 62,90               |
| E1              | 62,50            | 1,40             | 61,10               |

Tabela 3 – Dados das tubagens da Rede 1.  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)

| Tubagem | Montante | Jusante | Diâmetro (mm) | Comprimento (m) |
|---------|----------|---------|---------------|-----------------|
| T1      | Cx1      | Cx2     | 300           | 41,20           |
| T2      | Cx2      | Cx3     | 300           | 22,56           |
| T3      | Cx3      | Cx4     | 300           | 24,80           |
| T4      | Cx4      | Cx5     | 300           | 25,77           |
| T5      | Cx5      | Cx6     | 300           | 60,08           |
| T6      | Cx6      | Cx7     | 300           | 26,53           |
| T7      | Cx7      | E1      | 300           | 17,38           |

**Tabela 4 – Dados das sub-bacias da Rede 1.**  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)

| <b>Sub-bacia</b> | <b>Tipologia</b>  | <b>Entrada no sistema</b> | <b>Área (ha)</b> | <b>Largura (m)</b> | <b>Inclinação (%)</b> |
|------------------|-------------------|---------------------------|------------------|--------------------|-----------------------|
| <b>S1</b>        | Edificação        | Cx1                       | 0,2153           | 45,17              | 1,00                  |
| <b>S2</b>        | Edificação        | Cx1                       | 0,1208           | 46,85              | 1,00                  |
| <b>S3</b>        | Edificação        | Cx1                       | 0,1417           | 34,88              | 1,00                  |
| <b>S4</b>        | Pavimento/Passeio | Cx1                       | 0,0560           | 8,96               | 13,64                 |
| <b>S5</b>        | Edificação        | Cx2                       | 0,0696           | 41,26              | 1,00                  |
| <b>S6</b>        | Pavimento/Passeio | Cx2                       | 0,0589           | 14,62              | 11,41                 |
| <b>S7</b>        | Edificação        | Cx3                       | 0,1443           | 41,38              | 1,00                  |
| <b>S8</b>        | Pavimento/Passeio | Cx3                       | 0,0212           | 10,32              | 12,85                 |
| <b>S9</b>        | Edificação        | Cx4                       | 0,1240           | 48,87              | 1,00                  |
| <b>S10</b>       | Edificação        | Cx4                       | 0,2332           | 30,32              | 1,00                  |
| <b>S11</b>       | Pavimento/Passeio | Cx4                       | 0,0270           | 9,11               | 10,48                 |
| <b>S12</b>       | Pavimento/Passeio | Cx5                       | 0,0967           | 15,16              | 7,76                  |
| <b>S13</b>       | Edificação        | Cx6                       | 0,2445           | 56,30              | 1,00                  |
| <b>S14</b>       | Edificação        | Cx6                       | 0,2508           | 57,24              | 1,00                  |
| <b>S15</b>       | Pavimento/Passeio | Cx6                       | 0,0707           | 11,26              | 7,82                  |
| <b>S16</b>       | Edificação        | Cx7                       | 0,1833           | 42,48              | 1,00                  |
| <b>S17</b>       | Edificação        | Cx7                       | 0,1676           | 48,99              | 1,00                  |
| <b>S18</b>       | Pavimento/Passeio | Cx7                       | 0,0764           | 21,56              | 9,42                  |

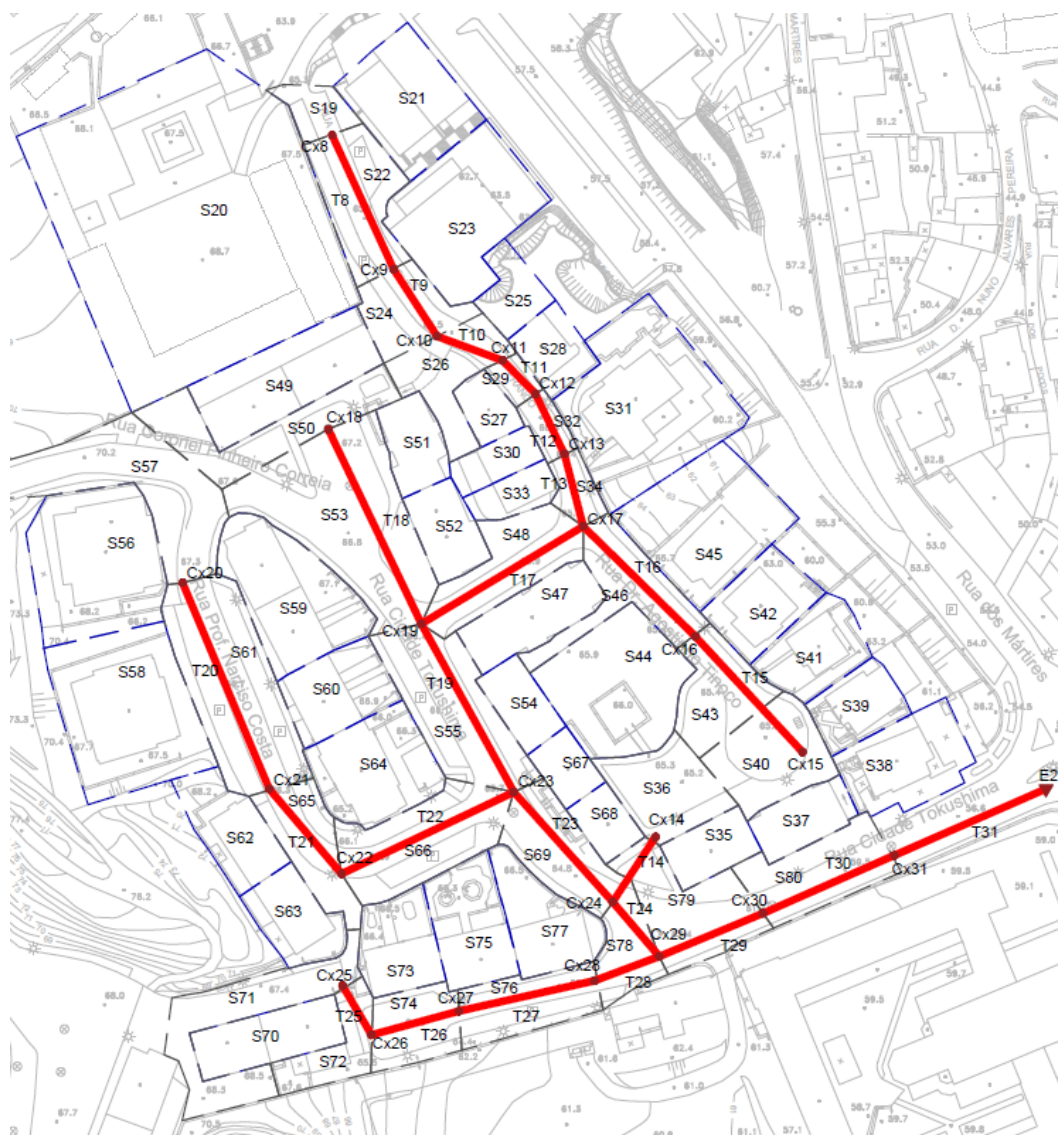
Como observado na Figura 15, a Rede 1 se encontra sobre um solo de permeabilidade alta no início de seu traçado, porém logo em seguida se percebe a transição para um solo do tipo argiloso e, portanto, de permeabilidade na ordem dos  $10^{-9}$  m/s, o que é considerado um valor muito baixo. Por esse motivo, a contribuição da infiltração será considerada apenas nas sub-bacias S4 e S6, não sendo considerada no restante da rede, sendo sugerido para esta parcela um pavimento permeável sem infiltração no solo, ou seja, todo o volume pluvial deverá ser encaminhado para a rede de drenagem, funcionando o pavimento permeável nesta zona apenas como bacia de retenção.

### 3.2.2. Rede 2

A Rede 2, ilustrada na Figura 17, possui uma área de 4,62 hectares e compreende as ruas Miguel Franco, Cidade de Tokushima, Prof. Narciso Costa e, por fim, a travessa dos Capuchinos. Assim como na Rede 1, as informações referentes às caixas de visita, tubagens da rede de coletores e divisão das sub-bacias de drenagem, com indicações de áreas e inclinações, foram fornecidas pelo Gabinete de Infraestrutura da Câmara Municipal de Leiria e são apresentadas nas Tabelas 5, 6 e 7, respetivamente.

A divisão das sub-bacias de drenagem foi realizada nos mesmos padrões da Rede 1, com divisão de sub-bacias respeitando o loteamento do terreno, terrenos inocupados considerados edificados e terraplanados. Por conter uma edificação de valor histórico para a cidade, o Convento de Santo António dos Capuchos, a sub-bacia S20 é a única que não se configura como ocupação residencial.

Vale lembrar que as sub-bacias indicadas por “Pavimento/Passeio” na Tabela 7 serão substituídas pelo sistema de pavimento permeável na simulação e por esse motivo apresentam as declividades observadas *in loco*.



**Figura 17 - Representação de dados referentes a Rede 2.**  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)

**Tabela 5 - Dados das caixas de visita da Rede 2.  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)**

| <b>Caixa de Visita</b> | <b>Cota Terreno (m)</b> | <b>Profundidade (m)</b> | <b>Cota de Soleira (m)</b> |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Cx8                    | 66,00                   | 1,38                    | 64,62                      |
| Cx9                    | 65,70                   | 3,67                    | 62,03                      |
| Cx10                   | 65,50                   | 3,67                    | 61,83                      |
| Cx11                   | 65,50                   | 3,93                    | 61,57                      |
| Cx12                   | 65,50                   | 4,13                    | 61,37                      |
| Cx13                   | 64,40                   | 3,36                    | 61,04                      |
| Cx14                   | 65,20                   | 1,38                    | 63,82                      |
| Cx15                   | 65,50                   | 1,38                    | 64,12                      |
| Cx16                   | 65,40                   | 1,75                    | 63,65                      |
| Cx17                   | 65,10                   | 4,57                    | 60,53                      |
| Cx18                   | 67,20                   | 1,38                    | 65,82                      |
| Cx19                   | 66,40                   | 6,52                    | 59,88                      |
| Cx20                   | 67,30                   | 1,38                    | 65,92                      |
| Cx21                   | 66,30                   | 1,38                    | 64,92                      |
| Cx22                   | 65,90                   | 1,38                    | 64,52                      |
| Cx23                   | 65,70                   | 6,87                    | 58,83                      |
| Cx24                   | 64,00                   | 6,54                    | 57,46                      |
| Cx25                   | 67,40                   | 1,85                    | 65,55                      |
| Cx26                   | 64,60                   | 1,38                    | 63,22                      |
| Cx27                   | 64,40                   | 1,54                    | 62,86                      |
| Cx28                   | 63,90                   | 1,48                    | 62,42                      |
| Cx29                   | 63,40                   | 6,66                    | 56,74                      |
| Cx30                   | 61,30                   | 5,84                    | 55,46                      |
| Cx31                   | 59,50                   | 6,69                    | 52,81                      |
| E2                     | 54,50                   | 2,59                    | 51,91                      |

**Tabela 6 - Dados das tubagens da Rede 2.**  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)

| <b>Tubagem</b> | <b>Montante</b> | <b>Jusante</b> | <b>Diâmetro (mm)</b> | <b>Comprimento (m)</b> |
|----------------|-----------------|----------------|----------------------|------------------------|
| T8             | Cx8             | Cx9            | 300                  | 40,06                  |
| T9             | Cx9             | Cx10           | 300                  | 21,69                  |
| T10            | Cx10            | Cx11           | 300                  | 18,97                  |
| T11            | Cx11            | Cx12           | 300                  | 12,70                  |
| T12            | Cx12            | Cx13           | 300                  | 18,11                  |
| T13            | Cx13            | Cx17           | 300                  | 20,32                  |
| T14            | Cx14            | Cx24           | 300                  | 21,13                  |
| T15            | Cx15            | Cx16           | 300                  | 42,79                  |
| T16            | Cx16            | Cx17           | 300                  | 42,74                  |
| T17            | Cx17            | Cx19           | 400                  | 51,37                  |
| T18            | Cx18            | Cx19           | 300                  | 58,62                  |
| T19            | Cx19            | Cx23           | 400                  | 52,11                  |
| T20            | Cx20            | Cx21           | 300                  | 60,70                  |
| T21            | Cx21            | Cx22           | 300                  | 30,28                  |
| T22            | Cx22            | Cx23           | 300                  | 51,82                  |
| T23            | Cx23            | Cx24           | 400                  | 40,14                  |
| T24            | Cx24            | Cx29           | 400                  | 19,47                  |
| T25            | Cx25            | Cx26           | 300                  | 15,55                  |
| T26            | Cx26            | Cx27           | 300                  | 24,59                  |
| T27            | Cx27            | Cx28           | 300                  | 37,71                  |
| T28            | Cx28            | Cx29           | 300                  | 18,84                  |
| T29            | Cx29            | Cx30           | 400                  | 30,50                  |
| T30            | Cx30            | Cx31           | 400                  | 39,00                  |
| T31            | Cx31            | E2             | 400                  | 45,00                  |

**Tabela 7 - Dados das sub-bacias da Rede 2.**  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)

| <b>Sub-bacia</b> | <b>Tipologia</b>  | <b>Entrada no sistema</b> | <b>Área (ha)</b> | <b>Largura (m)</b> | <b>Inclinação (%)</b> |
|------------------|-------------------|---------------------------|------------------|--------------------|-----------------------|
| S19              | Pavimento/Passeio | Cx8                       | 0,0232           | 14,82              | 13,79                 |
| S20              | Edificação        | Cx9                       | 0,5547           | 80,53              | 1,00                  |
| S21              | Edificação        | Cx9                       | 0,0900           | 34,50              | 1,00                  |
| S22              | Pavimento/Passeio | Cx9                       | 0,0721           | 16,40              | 0,75                  |
| S23              | Edificação        | Cx10                      | 0,1210           | 65,26              | 1,00                  |
| S24              | Pavimento/Passeio | Cx10                      | 0,0489           | 21,89              | 0,92                  |
| S25              | Edificação        | Cx11                      | 0,0306           | 13,87              | 1,00                  |
| S26              | Pavimento/Passeio | Cx11                      | 0,0575           | 14,26              | 2,64                  |
| S27              | Edificação        | Cx12                      | 0,0226           | 18,60              | 1,00                  |
| S28              | Edificação        | Cx12                      | 0,0347           | 20,72              | 1,00                  |
| S29              | Pavimento/Passeio | Cx12                      | 0,0120           | 9,40               | 3,94                  |
| S30              | Edificação        | Cx13                      | 0,0254           | 10,32              | 1,00                  |
| S31              | Edificação        | Cx13                      | 0,1676           | 35,86              | 1,00                  |
| S32              | Pavimento/Passeio | Cx13                      | 0,0168           | 9,47               | 6,07                  |
| S33              | Edificação        | Cx17                      | 0,0245           | 10,72              | 1,00                  |
| S34              | Pavimento/Passeio | Cx17                      | 0,0195           | 9,35               | -3,44                 |
| S35              | Edificação        | Cx14                      | 0,0338           | 24,17              | 1,00                  |
| S36              | Pavimento/Passeio | Cx14                      | 0,0631           | 23,94              | 0,40                  |
| S37              | Edificação        | Cx15                      | 0,0387           | 28,29              | 1,00                  |
| S38              | Edificação        | Cx15                      | 0,0742           | 34,91              | 1,00                  |
| S39              | Edificação        | Cx15                      | 0,0421           | 17,30              | 1,00                  |
| S40              | Pavimento/Passeio | Cx15                      | 0,0641           | 29,40              | 1,62                  |
| S41              | Edificação        | Cx16                      | 0,0544           | 19,76              | 1,00                  |
| S42              | Edificação        | Cx16                      | 0,0547           | 20,59              | 1,00                  |
| S43              | Pavimento/Passeio | Cx16                      | 0,0641           | 26,95              | 0,31                  |
| S44              | Edificação        | Cx17                      | 0,1162           | 35,27              | 1,00                  |
| S45              | Edificação        | Cx17                      | 0,1211           | 32,85              | 1,00                  |
| S46              | Pavimento/Passeio | Cx17                      | 0,0653           | 17,75              | 0,70                  |
| S47              | Edificação        | Cx19                      | 0,0579           | 39,78              | 1,00                  |
| S48              | Pavimento/Passeio | Cx19                      | 0,0723           | 16,12              | -2,53                 |
| S49              | Edificação        | Cx18                      | 0,0948           | 50,98              | 1,00                  |
| S50              | Pavimento/Passeio | Cx18                      | 0,0765           | 57,17              | 1,32                  |
| S51              | Edificação        | Cx19                      | 0,0374           | 25,03              | 1,00                  |
| S52              | Edificação        | Cx19                      | 0,0396           | 25,67              | 1,00                  |
| S53              | Pavimento/Passeio | Cx19                      | 0,1699           | 27,02              | 1,36                  |
| S54              | Edificação        | Cx23                      | 0,0324           | 24,35              | 1,00                  |
| S55              | Pavimento/Passeio | Cx23                      | 0,1029           | 21,08              | 1,34                  |
| S56              | Edificação        | Cx20                      | 0,1326           | 17,06              | 1,00                  |
| S57              | Pavimento/Passeio | Cx20                      | 0,1504           | 39,68              | 6,03                  |
| S58              | Edificação        | Cx21                      | 0,1512           | 42,82              | 1,00                  |
| S59              | Edificação        | Cx21                      | 0,1058           | 45,42              | 1,00                  |
| S60              | Edificação        | Cx21                      | 0,0581           | 19,75              | 1,00                  |

(Continuação) Tabela 7 - Dados das sub-bacias da Rede 2.

| Sub-bacia | Tipologia         | Entrada no sistema | Área (ha) | Largura (m) | Inclinação (%) |
|-----------|-------------------|--------------------|-----------|-------------|----------------|
| S61       | Pavimento/Passeio | Cx21               | 0,1372    | 23,20       | 1,65           |
| S62       | Edificação        | Cx22               | 0,0550    | 34,64       | 1,00           |
| S63       | Edificação        | Cx22               | 0,0471    | 28,04       | 1,00           |
| S64       | Edificação        | Cx22               | 0,0835    | 27,56       | 1,00           |
| S65       | Pavimento/Passeio | Cx22               | 0,0531    | 16,74       | 1,32           |
| S66       | Pavimento/Passeio | Cx23               | 0,0930    | 19,46       | 0,39           |
| S67       | Edificação        | Cx24               | 0,0244    | 18,63       | 1,00           |
| S68       | Edificação        | Cx24               | 0,0243    | 18,38       | 1,00           |
| S69       | Pavimento/Passeio | Cx24               | 0,0636    | 17,90       | 4,24           |
| S70       | Edificação        | Cx25               | 0,0551    | 40,63       | 1,00           |
| S71       | Pavimento/Passeio | Cx25               | 0,0849    | 8,89        | 1,85           |
| S72       | Pavimento/Passeio | Cx26               | 0,0388    | 9,29        | 18,01          |
| S73       | Edificação        | Cx27               | 0,0525    | 21,17       | 1,00           |
| S74       | Pavimento/Passeio | Cx27               | 0,0470    | 20,07       | 0,81           |
| S75       | Edificação        | Cx28               | 0,0646    | 19,90       | 1,00           |
| S76       | Pavimento/Passeio | Cx28               | 0,0572    | 13,74       | 1,33           |
| S77       | Edificação        | Cx29               | 0,0605    | 17,55       | 1,00           |
| S78       | Pavimento/Passeio | Cx29               | 0,0375    | 24,49       | 2,65           |
| S79       | Pavimento/Passeio | Cx30               | 0,0776    | 20,05       | 6,89           |
| S80       | Pavimento/Passeio | Cx31               | 0,0696    | 17,26       | 4,62           |

Como visto na Figura 15, a Rede 2 se encontra predominantemente sobre um terreno do tipo calcário, com permeabilidade de  $10^{-5}$  m/s, considerado um valor médio. Portanto, recomenda-se para a referida rede um pavimento permeável com infiltração total, porém, as sub-bacias instaladas sobre terreno de calcário margoso e argiloso contarão com o auxílio de drenos para o esvaziamento do reservatório.

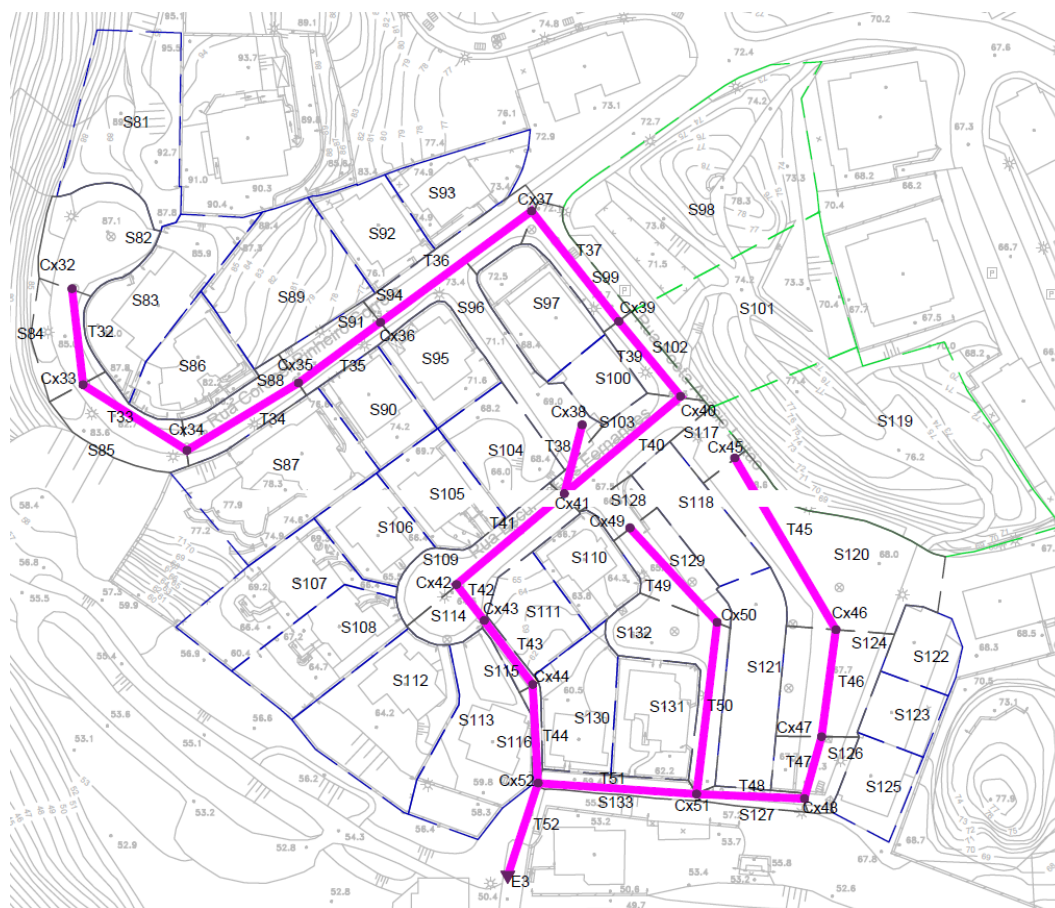
### 3.2.3. Rede 3

A Figura18 indica a configuração da Rede 3, na qual se inserem as ruas Coronel Pinheiro Correia, Poeta Acácio Leitão, Escultor Luís Fernandes e o Passeio das Salinas, com área total de 3,9 hectares.

Para a divisão das sub-bacias de drenagem, considerações referentes a terrenos inocupados e os demais parâmetros seguiram o procedimento realizado nas redes 1 e 2. Os dados disponibilizados pelo Gabinete de Infraestrutura da Câmara Municipal de Leiria são apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10.

Nesta rede, algumas sub-bacias de drenagem devem ser citadas por não se classificarem como ocupação residencial, sendo elas indicadas por S98, S101 e S119. Estas foram consideradas como áreas permeáveis e que não serão ocupadas por edificações futuras de acordo com o Plano Diretor Municipal que estabelece estas regiões como áreas verdes destinadas ao recreio e lazer da população local.

Por fim, merece ainda destaque as sub-bacias S115, S116, S127 e S133, que são indicadas como “Pavimento/Passeio”. Neste caso, devido à dificuldade de acesso e operação de maquinário no local, estas sub-bacias não serão substituídas por pavimentos permeáveis. Para a tomada desta decisão foi considerado, também, o baixo impacto que essas sub-bacias teriam no resultado final da modelação/simulação devido à sua área reduzida em relação às demais.



**Figura 18 - Representação de dados referentes a Rede 3.  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)**

**Tabela 8 - Dados das caixas de visita da Rede 3.  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)**

| <b>Caixa de Visita</b> | <b>Cota Terreno (m)</b> | <b>Profundidade (m)</b> | <b>Cota de Soleira (m)</b> |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Cx32                   | 86,00                   | 1,38                    | 84,62                      |
| Cx33                   | 84,00                   | 1,38                    | 82,62                      |
| Cx34                   | 80,00                   | 1,38                    | 78,62                      |
| Cx35                   | 77,30                   | 1,38                    | 75,92                      |
| Cx36                   | 75,30                   | 1,38                    | 73,92                      |
| Cx37                   | 72,10                   | 1,38                    | 70,72                      |
| Cx38                   | 68,40                   | 1,38                    | 67,02                      |
| Cx39                   | 70,70                   | 1,38                    | 69,32                      |
| Cx40                   | 69,30                   | 1,38                    | 67,92                      |
| Cx41                   | 67,00                   | 1,38                    | 65,62                      |
| Cx42                   | 64,50                   | 1,38                    | 63,12                      |
| Cx43                   | 64,00                   | 2,40                    | 61,60                      |
| Cx44                   | 60,50                   | 1,38                    | 59,12                      |
| Cx45                   | 69,00                   | 1,38                    | 67,62                      |
| Cx46                   | 68,00                   | 4,13                    | 63,87                      |
| Cx47                   | 67,70                   | 4,05                    | 63,65                      |
| Cx48                   | 67,30                   | 3,76                    | 63,54                      |
| Cx49                   | 66,00                   | 1,38                    | 64,62                      |
| Cx50                   | 62,90                   | 1,38                    | 61,52                      |
| Cx51                   | 61,20                   | 1,38                    | 59,82                      |
| Cx52                   | 59,40                   | 8,25                    | 51,15                      |
| E3                     | 50,40                   | 1,49                    | 48,91                      |

**Tabela 9 - Dados das tubagens da Rede 3.  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)**

| <b>Tubagem</b> | <b>Montante</b> | <b>Jusante</b> | <b>Diâmetro<br/>(mm)</b> | <b>Comprimento<br/>(m)</b> |
|----------------|-----------------|----------------|--------------------------|----------------------------|
| T32            | Cx32            | Cx33           | 300                      | 26,61                      |
| T33            | Cx33            | Cx34           | 300                      | 33,86                      |
| T34            | Cx34            | Cx35           | 300                      | 35,93                      |
| T35            | Cx35            | Cx36           | 300                      | 28,06                      |
| T36            | Cx36            | Cx37           | 300                      | 51,73                      |
| T37            | Cx37            | Cx39           | 300                      | 38,75                      |
| T38            | Cx38            | Cx41           | 300                      | 19,58                      |
| T39            | Cx39            | Cx40           | 300                      | 26,78                      |
| T40            | Cx40            | Cx41           | 300                      | 41,79                      |
| T41            | Cx41            | Cx42           | 300                      | 38,85                      |
| T42            | Cx42            | Cx43           | 300                      | 12,52                      |
| T43            | Cx43            | Cx44           | 300                      | 22,10                      |
| T44            | Cx44            | Cx52           | 300                      | 27,20                      |
| T45            | Cx45            | Cx46           | 300                      | 54,92                      |
| T46            | Cx46            | Cx47           | 300                      | 29,74                      |
| T47            | Cx47            | Cx48           | 300                      | 17,69                      |
| T48            | Cx48            | Cx51           | 300                      | 29,74                      |
| T49            | Cx49            | Cx50           | 300                      | 35,39                      |
| T50            | Cx50            | Cx51           | 300                      | 47,62                      |
| T51            | Cx51            | Cx52           | 300                      | 43,74                      |
| T52            | Cx52            | E3             | 400                      | 26,78                      |

**Tabela 10 - Dados das sub-bacias da Rede 3.  
(Câmara Municipal de Leiria, 2020)**

| <b>Sub-bacia</b> | <b>Tipologia</b>  | <b>Entrada<br/>no<br/>Sistema</b> | <b>Área<br/>(ha)</b> | <b>Largura<br/>(m)</b> | <b>Inclinação<br/>(%)</b> |
|------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|
| S81              | Edificação        | Cx32                              | 0,1316               | 27,90                  | 1,00                      |
| S82              | Pavimento/Passeio | Cx32                              | 0,0749               | 30,36                  | 3,84                      |
| S83              | Edificação        | Cx33                              | 0,1028               | 18,14                  | 1,00                      |
| S84              | Pavimento/Passeio | Cx33                              | 0,0427               | 15,67                  | 7,52                      |
| S85              | Pavimento/Passeio | Cx34                              | 0,0548               | 14,81                  | 11,81                     |
| S86              | Edificação        | Cx35                              | 0,0695               | 25,95                  | 1,00                      |
| S87              | Edificação        | Cx35                              | 0,1354               | 45,57                  | 1,00                      |
| S88              | Pavimento/Passeio | Cx35                              | 0,0434               | 11,66                  | 7,51                      |
| S89              | Edificação        | Cx36                              | 0,1241               | 39,47                  | 1,00                      |
| S90              | Edificação        | Cx36                              | 0,0563               | 20,21                  | 1,00                      |
| S91              | Pavimento/Passeio | Cx36                              | 0,0364               | 13,35                  | 7,13                      |
| S92              | Edificação        | Cx37                              | 0,0581               | 21,13                  | 1,00                      |
| S93              | Edificação        | Cx37                              | 0,0666               | 34,93                  | 1,00                      |
| S94              | Pavimento/Passeio | Cx37                              | 0,0491               | 11,90                  | 6,19                      |
| S95              | Edificação        | Cx38                              | 0,0633               | 22,16                  | 1,00                      |
| S96              | Pavimento/Passeio | Cx38                              | 0,0752               | 9,72                   | 8,18                      |
| S97              | Edificação        | Cx39                              | 0,0721               | 34,78                  | 1,00                      |
| S98              | Permeável         | Cx39                              | 0,2786               | 40,37                  | 16,61                     |
| S99              | Pavimento/Passeio | Cx39                              | 0,0358               | 8,78                   | 3,61                      |
| S100             | Edificação        | Cx40                              | 0,0331               | 19,45                  | 1,00                      |
| S101             | Permeável         | Cx40                              | 0,1814               | 35,81                  | 17,99                     |
| S102             | Pavimento/Passeio | Cx40                              | 0,0269               | 10,40                  | 5,23                      |
| S103             | Pavimento/Passeio | Cx41                              | 0,0586               | 15,45                  | 5,50                      |
| S104             | Edificação        | Cx42                              | 0,0653               | 21,42                  | 1,00                      |
| S105             | Edificação        | Cx42                              | 0,0632               | 20,68                  | 1,00                      |
| S106             | Edificação        | Cx42                              | 0,0548               | 21,24                  | 1,00                      |
| S107             | Edificação        | Cx42                              | 0,0951               | 20,00                  | 1,00                      |
| S108             | Edificação        | Cx42                              | 0,0868               | 20,18                  | 1,00                      |
| S109             | Pavimento/Passeio | Cx42                              | 0,0441               | 9,16                   | 6,44                      |
| S110             | Edificação        | Cx43                              | 0,0534               | 19,74                  | 1,00                      |
| S111             | Edificação        | Cx43                              | 0,0530               | 20,61                  | 1,00                      |
| S112             | Edificação        | Cx43                              | 0,1278               | 28,46                  | 1,00                      |
| S113             | Edificação        | Cx43                              | 0,1163               | 21,68                  | 1,00                      |
| S114             | Pavimento/Passeio | Cx43                              | 0,0464               | 10,39                  | 3,99                      |
| S115             | Pavimento/Passeio | Cx44                              | 0,0091               | 6,08                   | 15,84                     |
| S116             | Pavimento/Passeio | Cx52                              | 0,0086               | 4,82                   | 4,04                      |
| S117             | Pavimento/Passeio | Cx45                              | 0,0218               | 14,62                  | 4,66                      |
| S118             | Edificação        | Cx46                              | 0,0593               | 41,74                  | 1,00                      |
| S119             | Permeável         | Cx46                              | 0,3273               | 76,56                  | 31,37                     |
| S120             | Pavimento/Passeio | Cx46                              | 0,1576               | 35,90                  | 1,82                      |
| S121             | Edificação        | Cx47                              | 0,0907               | 58,84                  | 1,00                      |
| S122             | Edificação        | Cx47                              | 0,0375               | 20,48                  | 1,00                      |

(Continuação) Tabela 10 - Dados das sub-bacias da Rede 3.

| Sub-bacia | Tipologia         | Entrada no Sistema | Área (ha) | Largura (m) | Inclinação (%) |
|-----------|-------------------|--------------------|-----------|-------------|----------------|
| S123      | Edificação        | Cx47               | 0,0356    | 18,12       | 1,00           |
| S124      | Pavimento/Passeio | Cx47               | 0,0769    | 26,10       | 1,01           |
| S125      | Edificação        | Cx48               | 0,0442    | 24,19       | 1,00           |
| S126      | Pavimento/Passeio | Cx48               | 0,0364    | 20,26       | 2,26           |
| S127      | Pavimento/Passeio | Cx51               | 0,0141    | 5,12        | 20,51          |
| S128      | Pavimento/Passeio | Cx49               | 0,0176    | 14,72       | 12,19          |
| S129      | Pavimento/Passeio | Cx50               | 0,0490    | 15,71       | 8,76           |
| S130      | Edificação        | Cx51               | 0,0709    | 19,96       | 1,00           |
| S131      | Edificação        | Cx51               | 0,0727    | 22,51       | 1,00           |
| S132      | Pavimento/Passeio | Cx51               | 0,0720    | 16,53       | 3,57           |
| S133      | Pavimento/Passeio | Cx52               | 0,0230    | 5,24        | 4,12           |

Seguindo o exposto na Figura 15, é possível concluir que a Rede 3 se encontra em uma região de composição bastante heterogênea do solo, com troços sobre terreno que varia de permeabilidade alta como rocha magmática alterada,  $10^{-2}$  m/s, até permeabilidade muito baixa como argilas,  $10^{-9}$  m/s. Dessa forma, fica definido que as sub-bacias em terreno de calcário margoso e argiloso utilizarão drenos para o escoamento da água armazenada, sendo as demais sub-bacias dependentes da infiltração para a eliminação da água retida.

### 3.3. Estimativa precipitação

#### 3.3.1. Período de retorno

Como indicado por Tucci, Porto & Barros (1995), período de retorno pode ser entendido como o inverso da probabilidade de um evento hidrológico ser igualado ou excedido em um ano qualquer. Dessa forma, a escolha do período de retorno depende do tipo de estrutura e sua importância para a população, assumindo um risco aceitável para a obra em questão, estando associada, também, ao seu custo final.

Em Portugal foi publicado em 1995 o Decreto Regulamentar n.º 23/95, que aprovou o “Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais”, atualizando a legislação existente em matéria de sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais. O mesmo regulamento estabelece os princípios gerais a que se deve obedecer para a respectiva

---

concepção, dimensionamento, construção e exploração dos referidos sistemas. Por esse motivo, considerou-se o exposto pelo decreto citado na definição do período de retorno a ser utilizado no presente trabalho.

Segundo o Decreto Regulamentar n.º 23/95, os períodos de retorno mais frequentemente utilizados são de 5 ou 10 anos, que podem ser reduzidos para 2 ou mesmo 1 ano em situações criteriosamente estudadas de bacias de drenagem muito planas, com uma percentagem elevada de espaços livres permeáveis, ou aumentados para 20 ou 25 anos em grandes bacias de drenagem densamente edificadas e declivosas.

Portanto, serão utilizados dois períodos de retorno para a modelação/simulação, 10 anos, por se tratar de um valor mais frequente, e 20 anos, devido à densidade populacional encontrada no local, assim como a existência de um possível incremento da impermeabilização do solo devido à construção de novas edificações. Além disso, a utilização de períodos de retorno mais elevados se justificam por razão dos elevados investimentos, associados a intervenções estruturais na rede, para desenvolvimento de soluções que possuem um grau de risco de falha elevado.

### **3.3.2. Hietograma de precipitação**

O Decreto Regulamentar n.º 23/95 indica que, para a elaboração de estudos de drenagem de águas pluviais, deve-se recorrer às curvas que relacionam a Intensidade, a Duração e a Frequência da precipitação (curvas IDF), pois estas fornecem os valores das intensidades médias máximas da precipitação para várias durações e diferentes períodos de retorno.

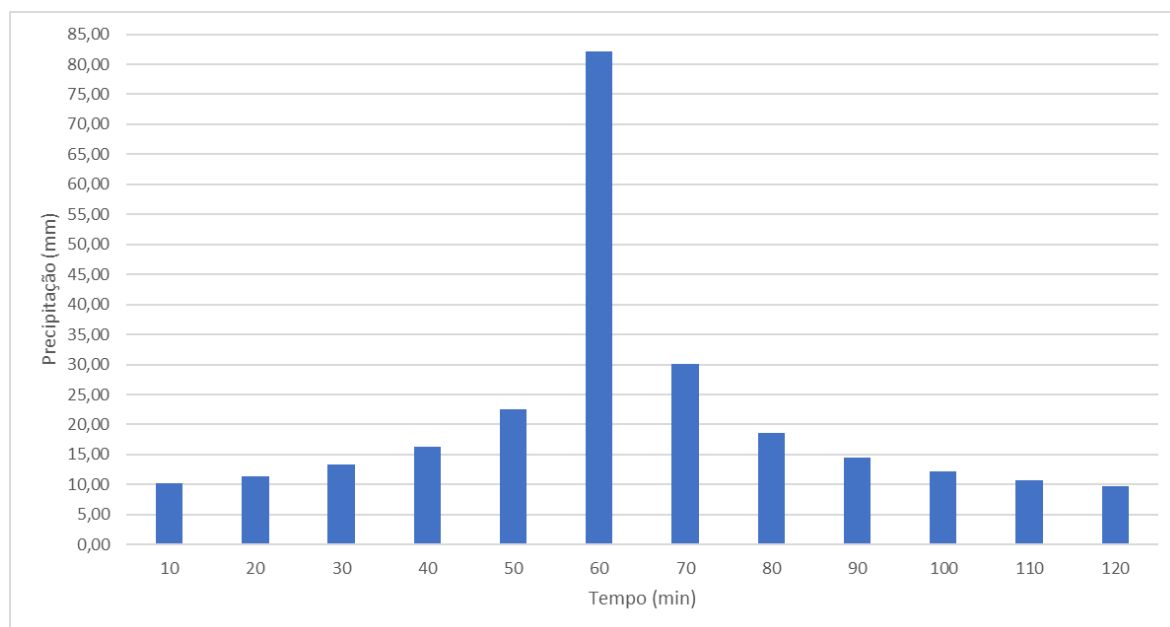
O Decreto Regulamentar n.º 23/95, apresenta também, os parâmetros a considerar para a definição das curvas correspondentes às três regiões pluviométricas existentes em Portugal e vários períodos de retorno. Importa destacar que a área de estudo se encontra na região pluviométrica A, que abrange grande parcela do território nacional.

Portela, Marques & Carvalho (2000) explica que, de acordo com uma dada curva IDF, são determinados os incrementos ou parcelas da precipitação que ocorrem em sucessivos intervalos de tempo com duração constante. Tais parcelas de precipitação são, seguidamente, reorganizadas numa sequência temporal, estabelecida de acordo com um padrão de variação pré-estabelecido.

O padrão de reorganização dos sucessivos incrementos de precipitação utilizado no presente trabalho foi o método dos blocos alternados de acordo com Chow, Maidement & Mays (1988), no qual se admite que a maior quantidade de precipitação no incremento de tempo considerado ( $\Delta t$ ), ocorre ao meio do período da duração da chuvada ( $T$ ), sendo as parcelas restantes ordenadas por ordem decrescente e dispostas sequencialmente e de modo alternado em torno do valor central.

As Figuras 19 e 20 apresentam os hietogramas referentes aos períodos de retorno ( $T_r$ ) de 10 e 20 anos, tal como descrito anteriormente, e elaborados com os parâmetros especificados pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95.

Comparativamente, é possível observar que, por representar um evento hidrológico mais intenso e que acontece com menos frequência, a chuvada proporcionada pelo período de retorno de 20 anos apresenta valores de precipitação, em média, 16,5% superiores àqueles gerados pelo período de retorno de 10 anos, sendo os valores de pico, respetivamente, 92 mm e 82 mm. Portanto, é expetável que as precipitações para períodos de retorno igual a 20 anos proporcionem resultados mais críticos para todos os parâmetros analisados durante a fase de modelação/simulação.



**Figura 19 – Hietograma de precipitação para  $T_r=10$  anos,  $\Delta t=10$ min.**

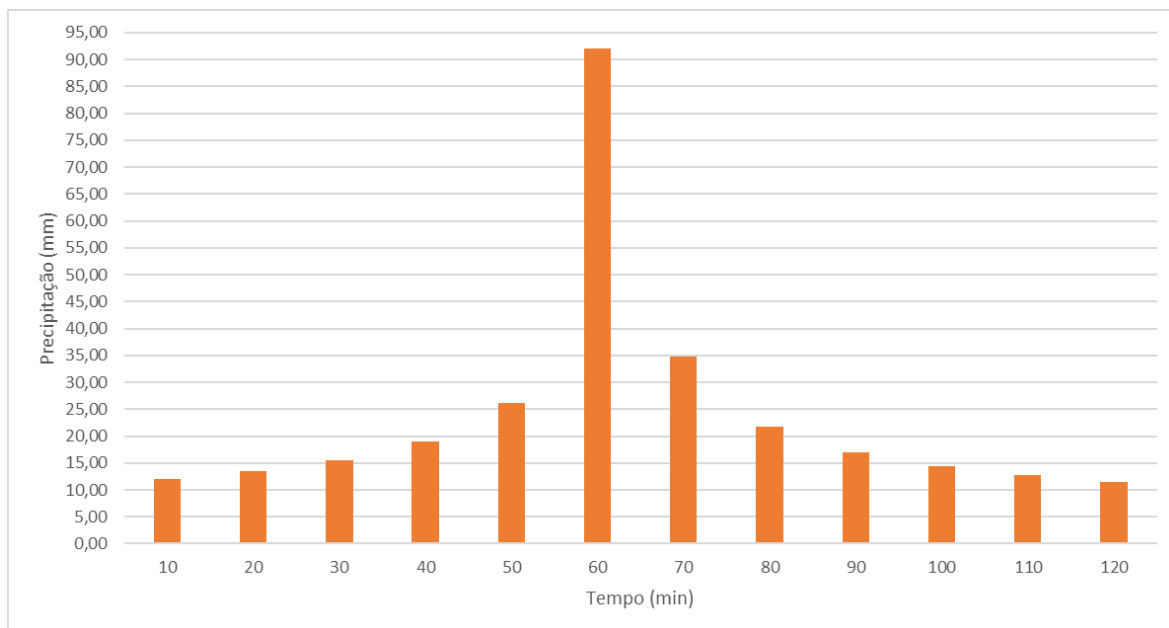


Figura 20 - Hietograma de precipitação para  $Tr=20$  anos,  $\Delta t=10$ min.

### 3.4. Parâmetros de modelação/simulação hidrológica e hidráulica

Como estabelecido nos objetivos, o software SWMM 5.1 foi utilizado para a realização da modelação/simulação do funcionamento integrado da rede de drenagem existente e a utilização de pavimentos permeáveis na área de estudo. Para isso, foi necessária a inserção no software de alguns parâmetros, como área, largura, inclinação, percentagem impermeabilizada e método de infiltração, para sub-bacias, diâmetro e comprimento, para as tubagens da rede de coletores, e cota do terreno e profundidade, para caixas de visita, que são essenciais para uma configuração adequada do modelo.

As sub-bacias de drenagem foram divididas em três categorias, uma se refere às edificações existentes, outra é relativa aos pavimentos e passeios e a terceira diz respeito às áreas permeáveis, ou seja, sem edificações. Essa distinção foi feita considerando as diferentes características de infiltração no solo e uma simplificação da modelação, pois dessa forma as sub-bacias de pavimentos e passeios podem ser integralmente substituídas por um sistema LID - Low Impact Development.

Como referido anteriormente, a determinação das áreas das sub-bacias foi realizada de forma a respeitar a configuração do loteamento existente e a inclinação foi estabelecida em 1%, com o objetivo de se considerar os terrenos terraplanados. As áreas consideradas como pavimentos permeáveis foram, por sua vez, definidas como a área atualmente coberta por

---

vias públicas e passeios e que serão substituídas pelo sistema LID, sendo utilizado como valores para a inclinação e o tipo de solo aqueles encontrados *in loco*. Merece destaque que terrenos desocupados também foram considerados edificados, com exceção dos destinados a áreas de recreio e lazer, os chamados “espaços verdes”.

Já a largura das sub-bacias de drenagem, é obtida considerando o valor médio da dimensão perpendicular ao sentido do escoamento superficial. Este valor será importante para a definição da distância percorrida pelo escoamento superficial, influenciando diretamente no cálculo do tempo de concentração.

A capacidade de infiltração do solo é outro parâmetro que influenciará a modelação/simulação, pois a partir dele será determinado o escoamento superficial. Foi escolhido o método Soil Conservation Service (SCS) para obtenção de seus resultados numéricos. Segundo a EPA (2015), este método se trata de uma aproximação para a estimativa do escoamento superficial, pois se considera que este valor é obtido da diferença entre a capacidade de infiltração do solo, determinada através da Curve Number (CN), e o volume de precipitação acumulado. Para utilizar o referido método no software é necessário conhecer o Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN), que varia de acordo com a ocupação do terreno, o tipo de solo e o tempo de secagem do solo.

Com relação ao tempo de secagem, EPA (2015) recomenda a utilização de valores variando entre 2 e 14 dias, portanto foi escolhido um valor médio para os solos de permeabilidade alta e média, 7 dias, e o maior valor recomendado, 14 dias, para os solos com permeabilidade baixa e muito baixa.

Com base no estabelecido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (1986), os tipos de solo são divididos em grupos A, B, C e D, de acordo com seu potencial de escoamento superficial, sendo o tipo A aquele que proporcionará o menor escoamento superficial e o D o maior. A seguir, deve-se observar a tabela Curve Number, presente no anexo A, que relaciona este parâmetro ao tipo de ocupação do solo. Portanto, os parâmetros escolhidos são resumidos da seguinte forma:

- Rocha magmática alterada muito fraturada: Tipo de solo A – Tempo de secagem 7 dias;
- Rocha calcária: Tipo de solo B – Tempo de secagem 7 dias;
- Rocha calcário margoso: Tipo de solo C – Tempo de secagem 14 dias;
- Argilas: Tipo de solo D – Tempo de secagem 14 dias.

---

Por fim, a percentagem impermeabilizada do solo segue o estabelecido pelo Plano Diretor Municipal de Leiria (2018), que divide a área de estudo em três zonas, uma referente a espaços centrais com funções terciárias e residenciais, outra correspondente aos equipamentos de utilização coletiva, de iniciativa pública ou privada, relevantes para o concelho, e finalmente uma vocacionada para o recreio e lazer da população. Portanto, o Plano Diretor Municipal (2018) limita a ocupação do solo em 80% da área total para as zonas residenciais e de equipamentos urbanos, já para as áreas de recreio e lazer, o valor máximo de impermeabilização do solo é de 20%. Para sub-bacias caracterizadas como pavimentos e passeios, optou-se por considerar o valor de 100% impermeabilizado, pois a capacidade de infiltração neste tipo de cobertura do solo é tão baixa que pode ser desprezada.

No que diz respeito à modelação/simulação da rede de drenagem existente, foram considerados os dados fornecidos pelo Gabinete de Infraestruturas da Câmara Municipal de Leiria, que indicam a existência de um sistema separativo entre rede de esgoto e rede de drenagem pluvial, sendo este o objeto de estudo nesta pesquisa. Devido a alguma incerteza e ausência de dados precisos (diâmetro das tubagens e profundidade de caixas de visita), optou-se por (re)dimensionar os troços de tubagens e caixas de visita tendo por base o layout existente, porém, por não se tratar do foco do presente estudo, não será aqui apresentada a descrição do dimensionamento da rede, sendo que os resultados obtidos se encontram no Anexo B.

Para a modelação/simulação dos pavimentos permeáveis do sistema LID, foram definidas apenas duas camadas, uma composta pelo pavimento, a camada que receberá o escoamento superficial, e outra composta pelo armazenamento, que será responsável pela retenção da água da chuva. Além disso, foi definido um dreno que será utilizado para o esvaziamento das camadas de armazenamento instaladas sobre o solo com baixos índices de permeabilidade. Sendo assim, o software requer a inserção de algumas propriedades, como a espessura do pavimento, a espessura do reservatório, o índice de vazios, as características do dreno, entre outros.

Como características do pavimento permeável foi definida uma camada com uma espessura de 100 mm, índice de vazios de 0,2 e permeabilidade do solo de 150 mm/h. Por sua vez, a camada de armazenamento conta com uma espessura de 300 mm, índice de vazios na faixa dos 0,4 e um valor de permeabilidade que varia de acordo com o tipo de solo existente no local em que foi instalado. Por fim, foi definida a utilização de um dreno de diâmetro 100

mm posicionado na base da camada de armazenamento – cuja contribuição é mensurada a partir do expoente de drenagem (o valor recomendado por EPA (2015) é de 0,5) e do coeficiente de drenagem que é obtido através da Equação 1.

$$C = \frac{2 \times D^{\frac{1}{2}}}{T} \quad (1)$$

Onde:

C – Coeficiente de drenagem;

D – Distância do dreno à superfície, em mm;

T – Tempo em que o volume reservado deverá ser drenado, em horas.

A distância do dreno à superfície é obtida pela subtração entre a altura total de armazenamento (100 mm + 300 mm = 400mm) e a cota superior do dreno, que neste caso é representada pelo diâmetro do dreno (100 mm). Foi definido o período de 24 horas para o esvaziamento do reservatório. Portanto, será utilizado o resultado apresentado na equação 2.

$$C = \frac{2 \times (400 - 100)^{\frac{1}{2}}}{24} = 1,443 \quad (2)$$

---

## 4. Resultados

Três parâmetros foram selecionados para determinar o desempenho das redes de drenagem antes e depois da implantação do sistema LID. O primeiro é o tempo de concentração, que permitirá observar em que instante a rede de drenagem é mais solicitada. O segundo é o caudal de ponta máximo, que permitirá verificar se a rede de drenagem tem capacidade para suportar tal solicitação. Por fim, o escoamento superficial nas sub-bacias caracterizadas como “Pavimentos/Passeios” permitirá analisar a influência da utilização de pavimentos permeáveis sobre o referido parâmetro.

### 4.1. Tempo de concentração

Para a análise do tempo de concentração das redes de drenagem, foi realizada a modelação/simulação de chuvadas de intensidade uniforme e duração infinita para os períodos de retorno de 10 e 20 anos e incrementos da precipitação de 10, 15 e 20 minutos. Vale destacar que o tempo de concentração é definido a partir do momento em que o caudal na seção de referência a jusante estabiliza, ou seja nas seções E1, E2 e E3. A utilização de três intensidades de precipitação diferentes se justifica por aumentar a base de dados para a determinação de um valor médio para o tempo de concentração.

Nas Figuras 21, 22 e 23, apresentam-se as variações dos caudais a jusante das Redes 1, 2 e 3, sem a utilização do sistema LID, para  $T_r$  igual a 10 anos e diferentes intensidades de precipitação, a saber:  $I=82,11$  mm/h ( $\Delta t=10$  min);  $I=65,73$  mm/h ( $\Delta t=15$  min); e  $I=56,12$  mm/h ( $\Delta t=20$  min).

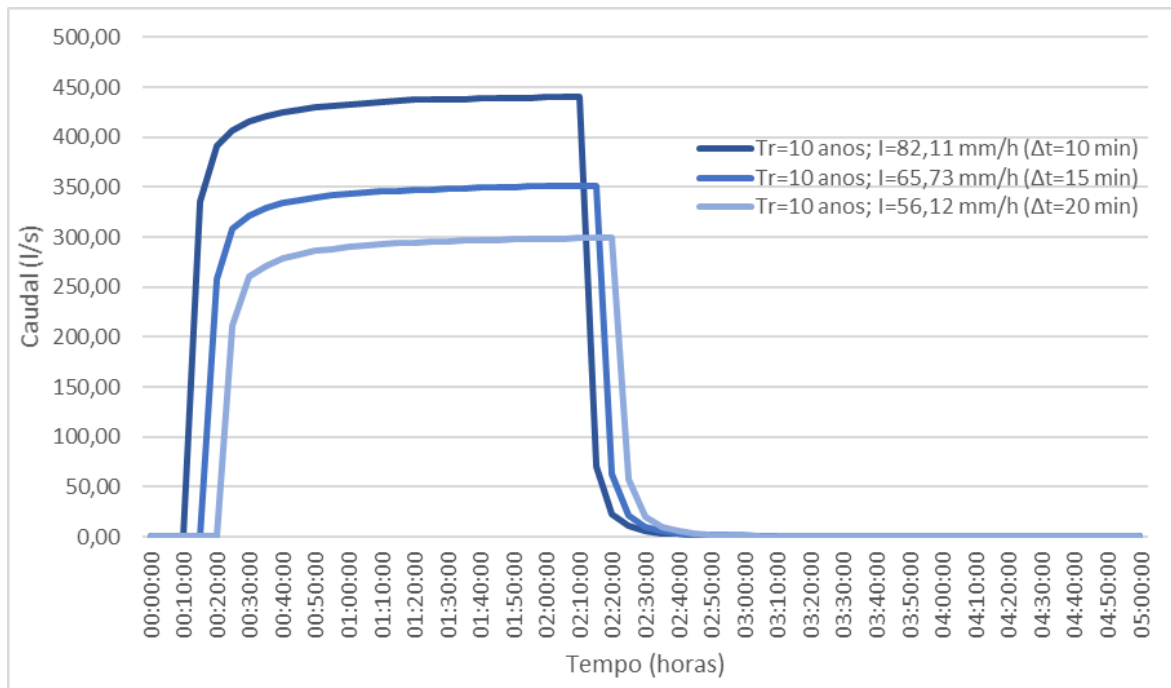


Figura 21 - Tempo de concentração da Rede 1 (sem LID) para Tr=10 anos.

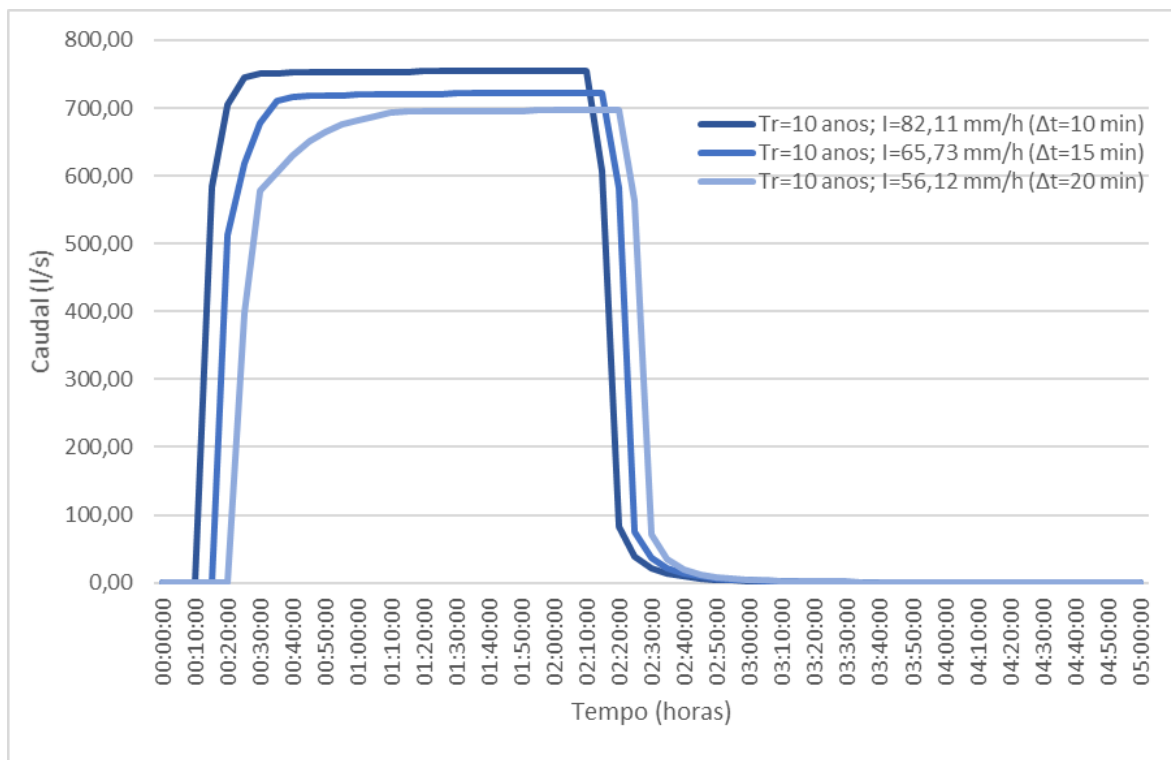


Figura 22 - Tempo de concentração da Rede 2 (sem LID) para Tr=10 anos.

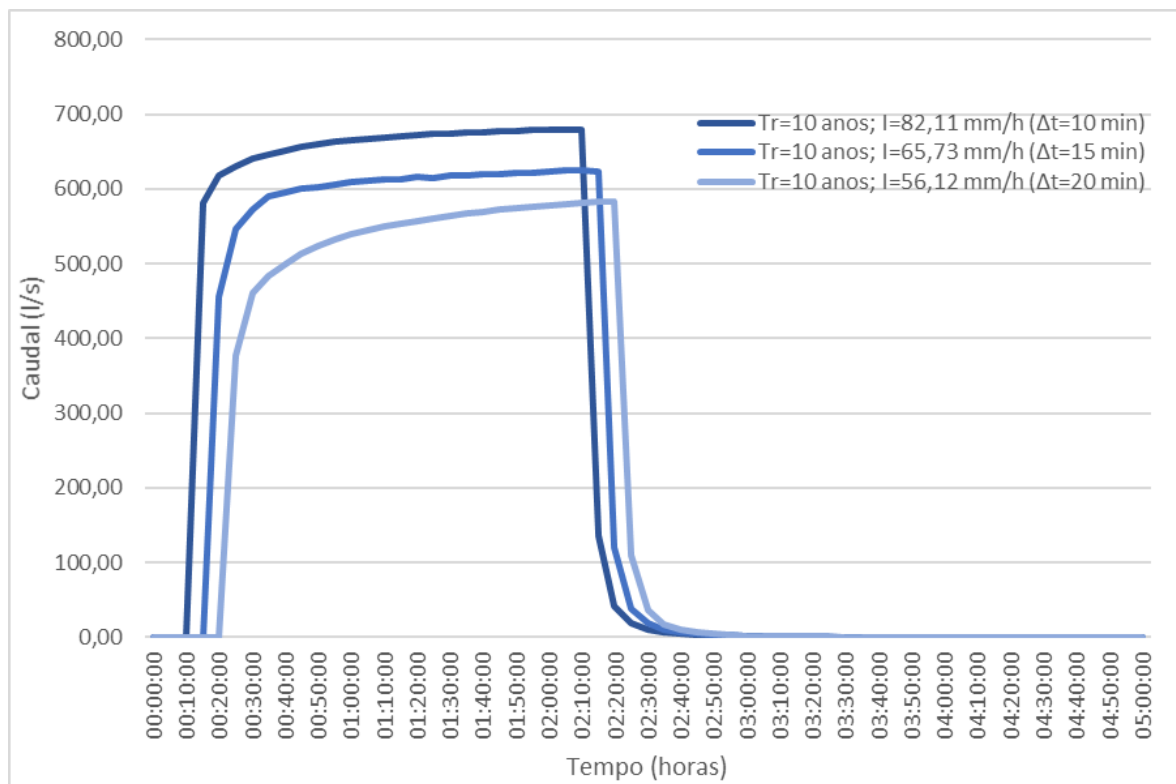


Figura 23 - Tempo de concentração da Rede 3 (sem LID) para Tr=10 anos.

Como se observa na Figura 21, pode-se concluir que o tempo de concentração da Rede 1 atinge um valor aproximado de 30 minutos. Analisando a Figura 22, é possível determinar que o tempo de concentração da Rede 2 antes da instalação do pavimento permeável é de aproximadamente 35 minutos. O tempo de concentração da Rede 3 pode ser determinado com base na análise dos resultados apresentados na Figura 23, sendo possível concluir que o tempo de concentração para esta rede é de aproximadamente 25 minutos.

Em seguida, foi realizada a modelação/simulação para os mesmos dados citados anteriormente (Tr=10 anos; Δt=10, 15 e 20 minutos) considerando a influência da utilização do sistema LID, sendo os resultados apresentados nas Figuras 24, 25 e 26.

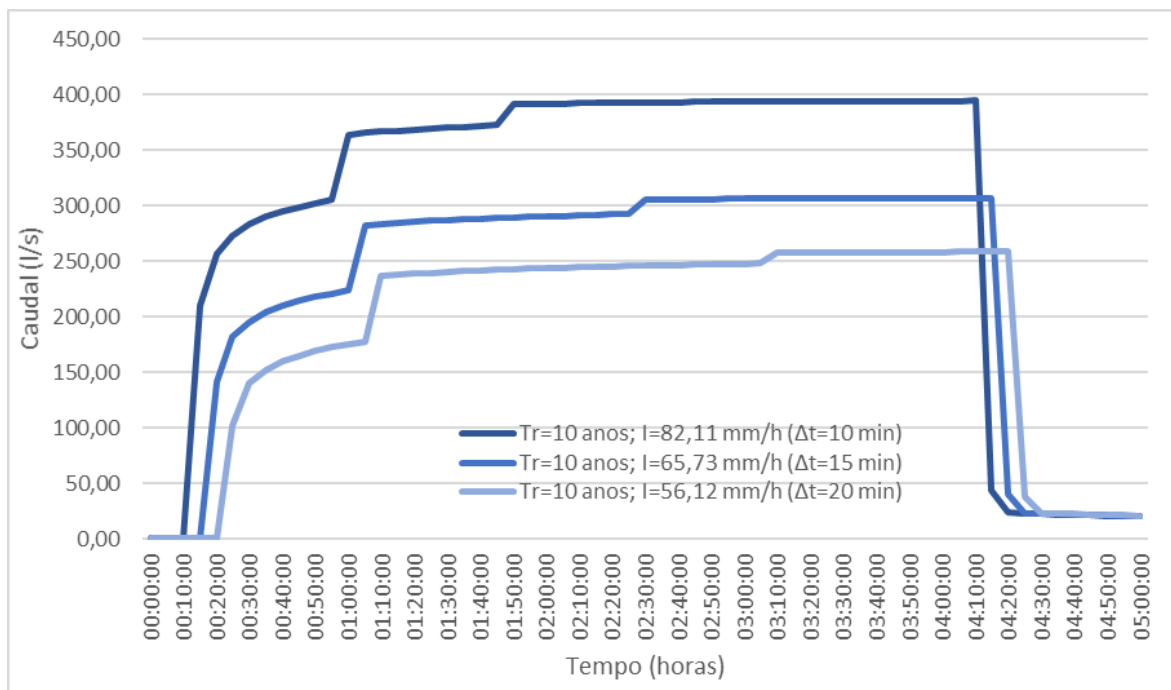


Figura 24 - Tempo de concentração da Rede 1 (com LID) para Tr=10 anos.

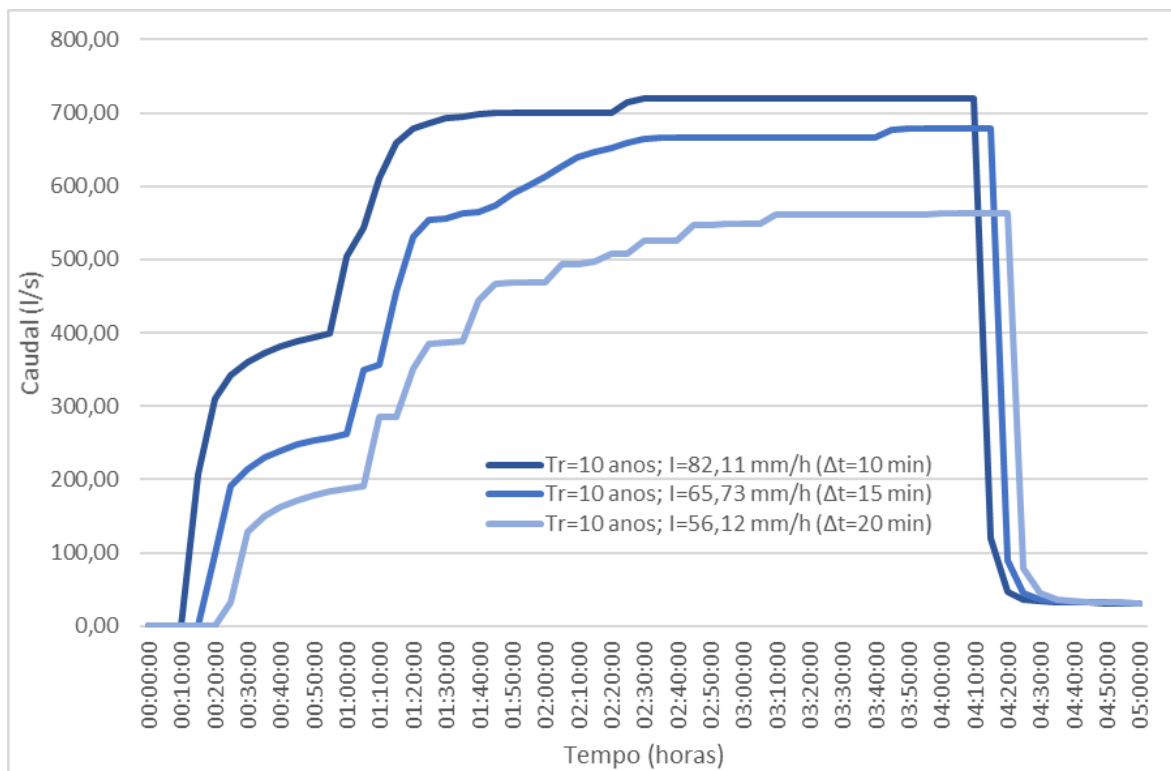


Figura 25 - Tempo de concentração da Rede 2 (com LID) para Tr=10 anos.

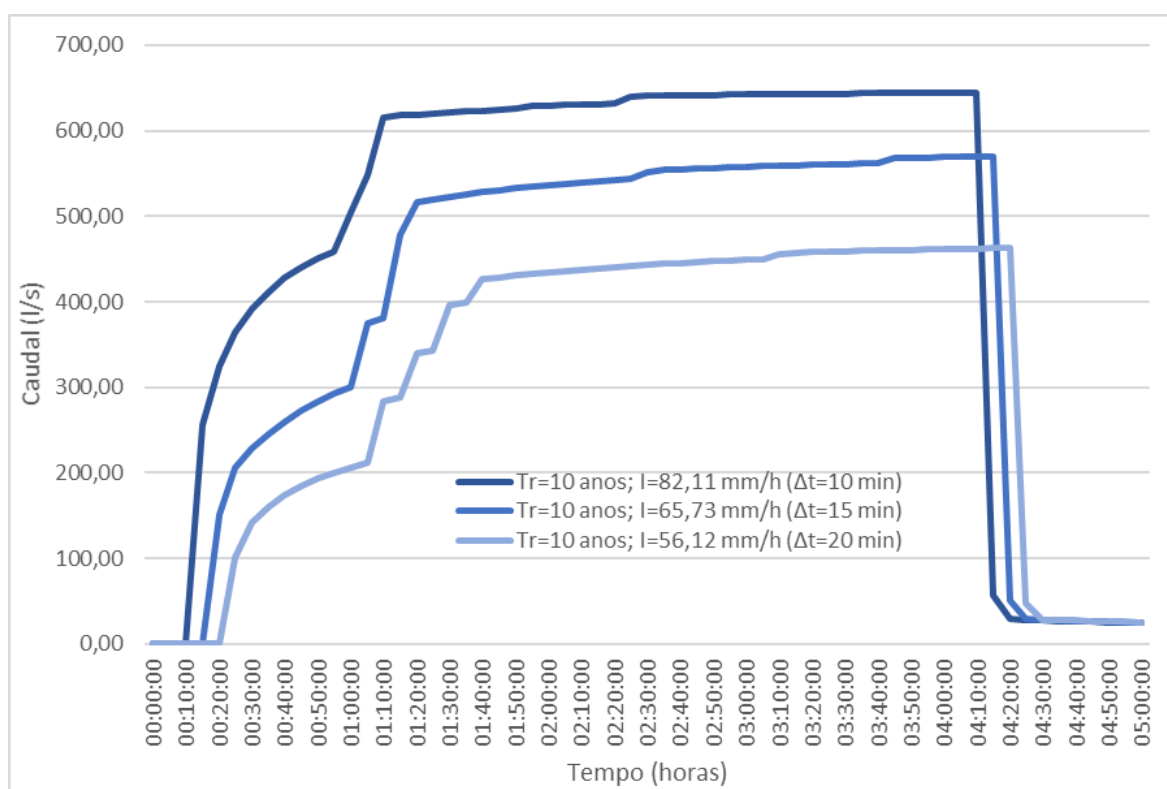


Figura 26 - Tempo de concentração da Rede 3 (com LID) para Tr=10 anos.

Analisando a Figura 24, é possível constatar que o tempo de concentração da Rede 1 aumentou de 30 minutos para um valor aproximado de 60 minutos, o que se traduziu na atenuação do caudal máximo.

A partir da Figura 25, pode-se realizar uma análise através da qual é possível concluir que existe um aumento significativo no tempo de retenção, assim como é possível observar o impacto da intensidade de precipitação nos resultados da infiltração. Portanto, o tempo de concentração na Rede 2, após a utilização dos pavimentos permeáveis, passa a ser de 2 horas e 30 minutos, o que representa um incremento de 1 hora e 55 minutos no tempo de retenção.

Observando a Figura 26, constata-se que o tempo de concentração na Rede 3 sofreu um incremento de 55 minutos, totalizando um valor final de 1 hora e 20 minutos.

Os saltos observados nos registros apresentados nas Figuras 24, 25 e 26, referentes aos caudais após a implementação do sistema LID que ocorrem aproximadamente a partir de 1 hora do tempo de simulação, marcam os instantes em que os reservatórios do pavimento permeável atingem a sua capacidade máxima, ou seja, ao invés de se infiltrar, a água precipitada escorre diretamente para as tubagens da rede de drenagem.

Nas Figuras 21 a 26, é possível observar dois factos que se repetem constantemente durante a análise do tempo de concentração para todas as redes presentes neste trabalho. O primeiro pode ser observado nos minutos iniciais da simulação, onde é possível perceber um caudal na rede igual a zero, isso ocorre devido a circunstância de o solo estar inicialmente seco, ou seja, neste período toda a precipitação se destina ao preenchimento de depressões no solo e à saturação do solo para posteriormente se iniciar o escoamento superficial. O segundo facto que merece destaque é a diferenciação entre os volumes de caudal para os diferentes incrementos de precipitação. Isto ocorre devido à intensidade, que é inversamente proporcional ao incremento de precipitação, por este motivo é de se esperar que o incremento de 10 minutos apresente maior volume de caudal registrado em um menor intervalo de tempo, sendo esperado, por sua vez que o incremento de 20 minutos, que apresenta a menor intensidade de chuvada, registre os menores valores em termos de volume em um período de tempo mais elevado.

As Figuras 27, 28 e 29 apresentam as variações dos caudais a jusante das Redes 1, 2 e 3, sem a utilização do sistema LID, para Tr igual a 20 anos e diferentes intensidades de precipitação, a saber:  $I=92,06$  mm/h ( $\Delta t=10$  min);  $I=74,02$  mm/h ( $\Delta t=15$  min); e  $I=63,40$  mm/h ( $\Delta t=20$  min).

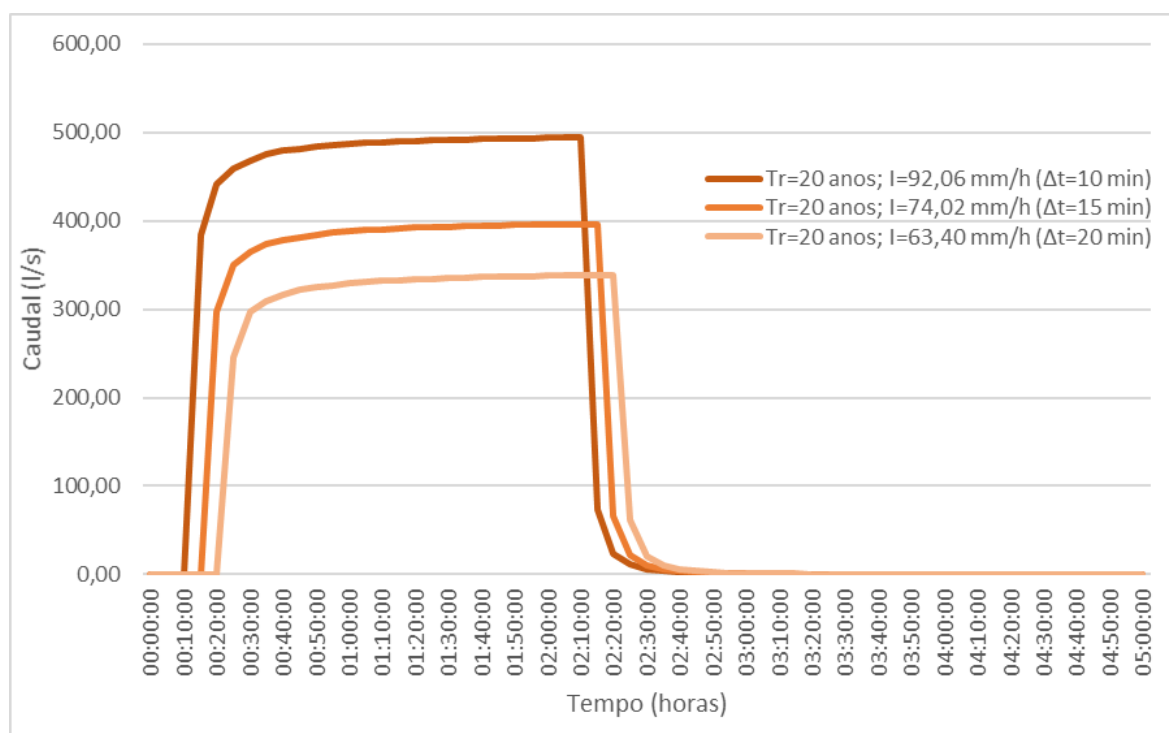


Figura 27 - Tempo de concentração da Rede 1 (sem LID) para Tr=20 anos.

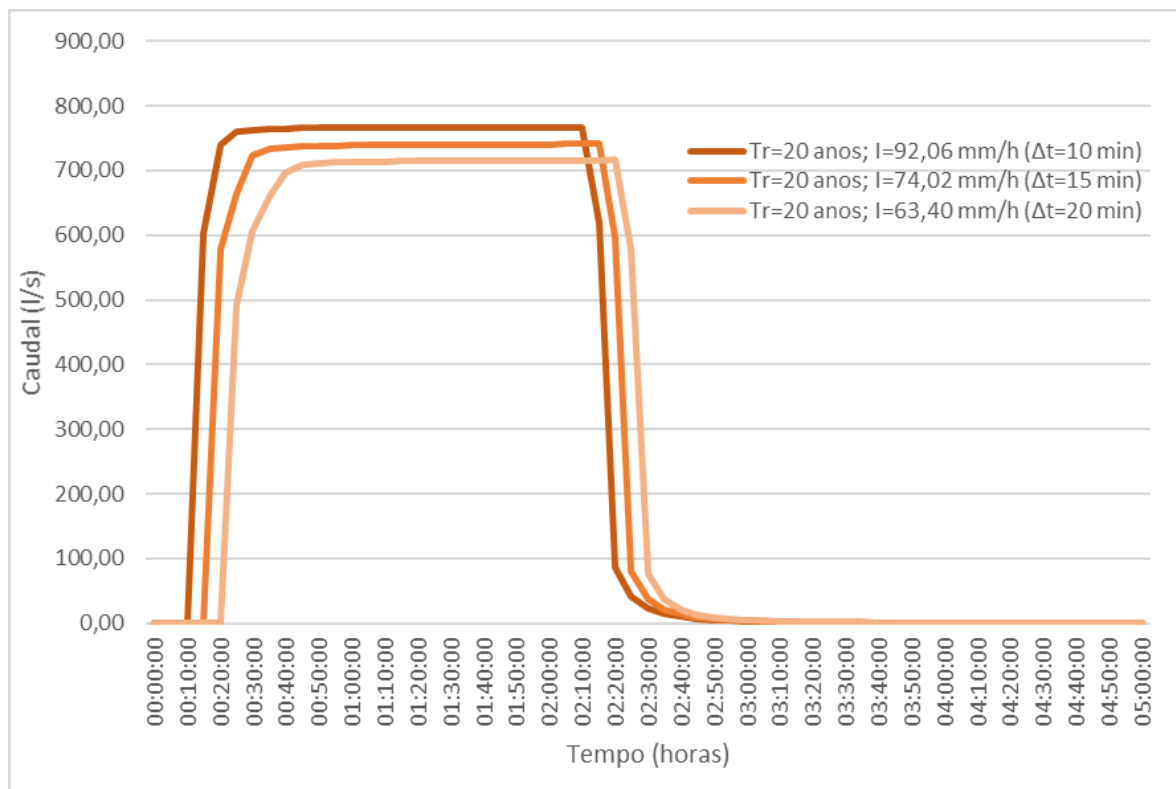


Figura 28 - Tempo de concentração da Rede 2 (sem LID) para Tr=20 anos.

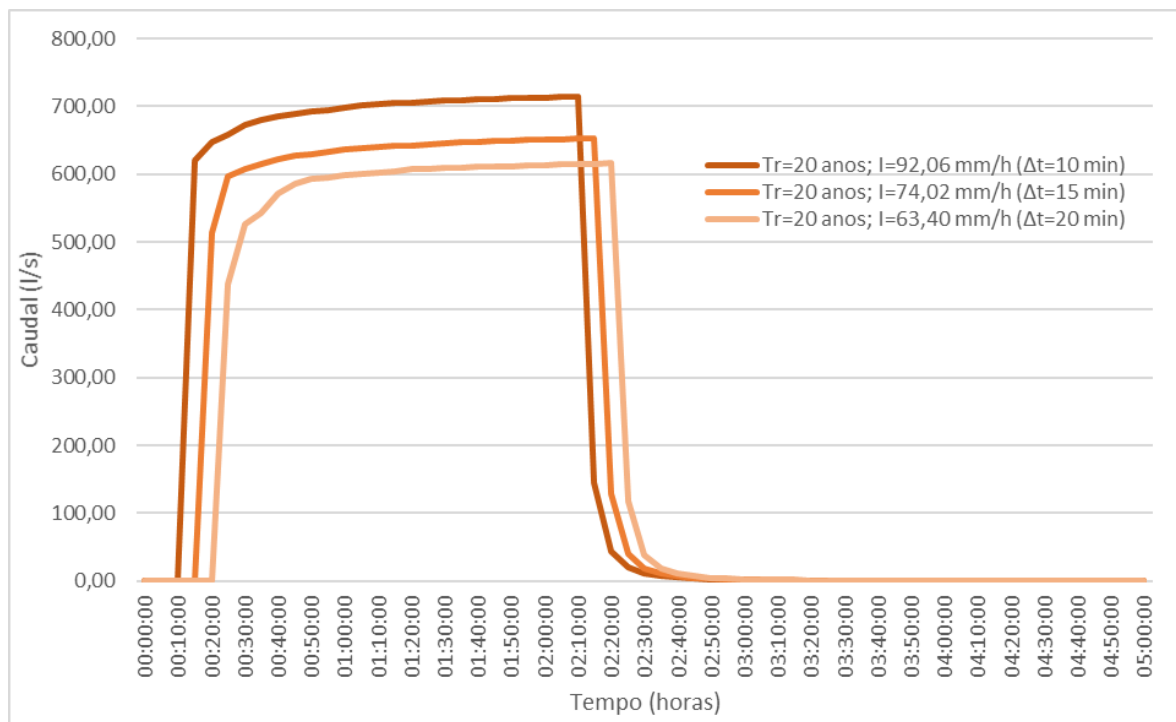


Figura 29 - Tempo de concentração da Rede 3 (sem LID) para Tr=20 anos.

O tempo de concentração da Rede 1 sem LID, apresentado na Figura 27, tem valor de aproximadamente 30 minutos. Como demonstrado na Figura 28, o tempo de concentração

da rede 2, sem LID, tem valor de aproximadamente 30 minutos. Por sua vez, a Figura 29 deixa evidente que a Rede 3 apresenta um tempo de concentração, antes a implantação do sistema LID, de grandeza aproximadamente igual a 25 minutos.

As Figuras 30, 31 e 32 apresentam os resultados obtidos da modelação/simulação para os mesmos dados citados anteriormente ( $Tr=20$  anos;  $\Delta t=10, 15$  e  $20$  minutos) considerando a influência da utilização do sistema LID.

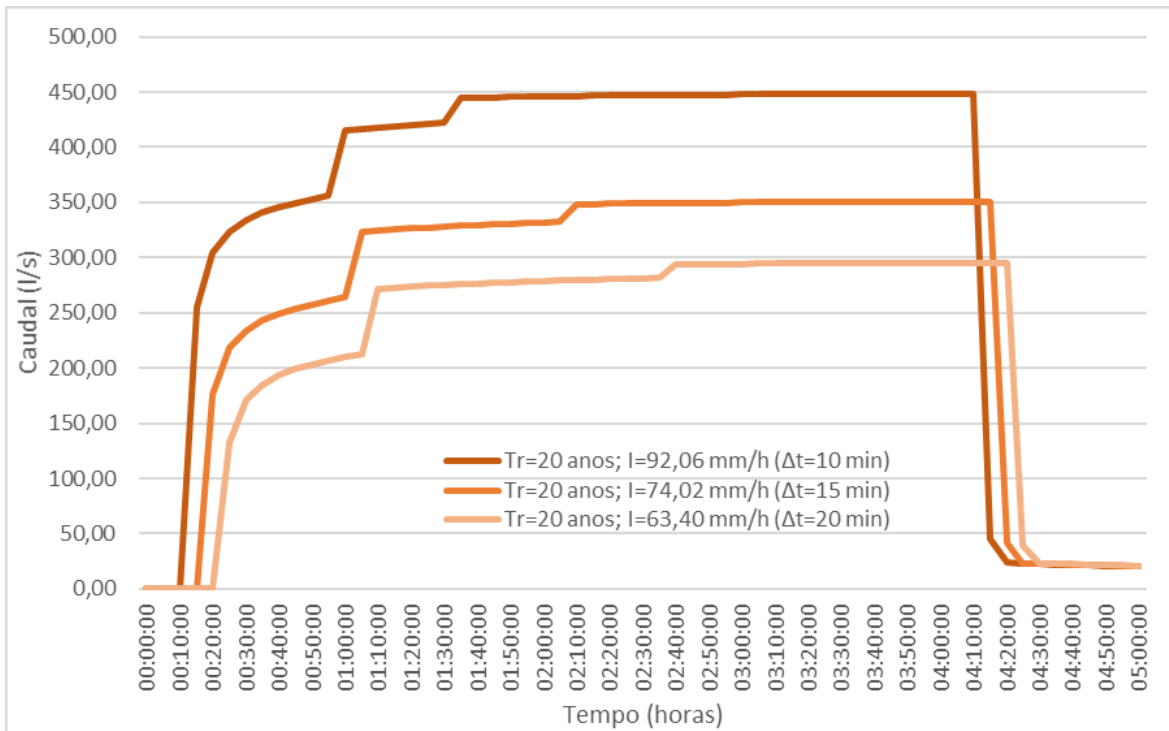


Figura 30 - Tempo de concentração da Rede 1 (com LID) para  $Tr=20$  anos.

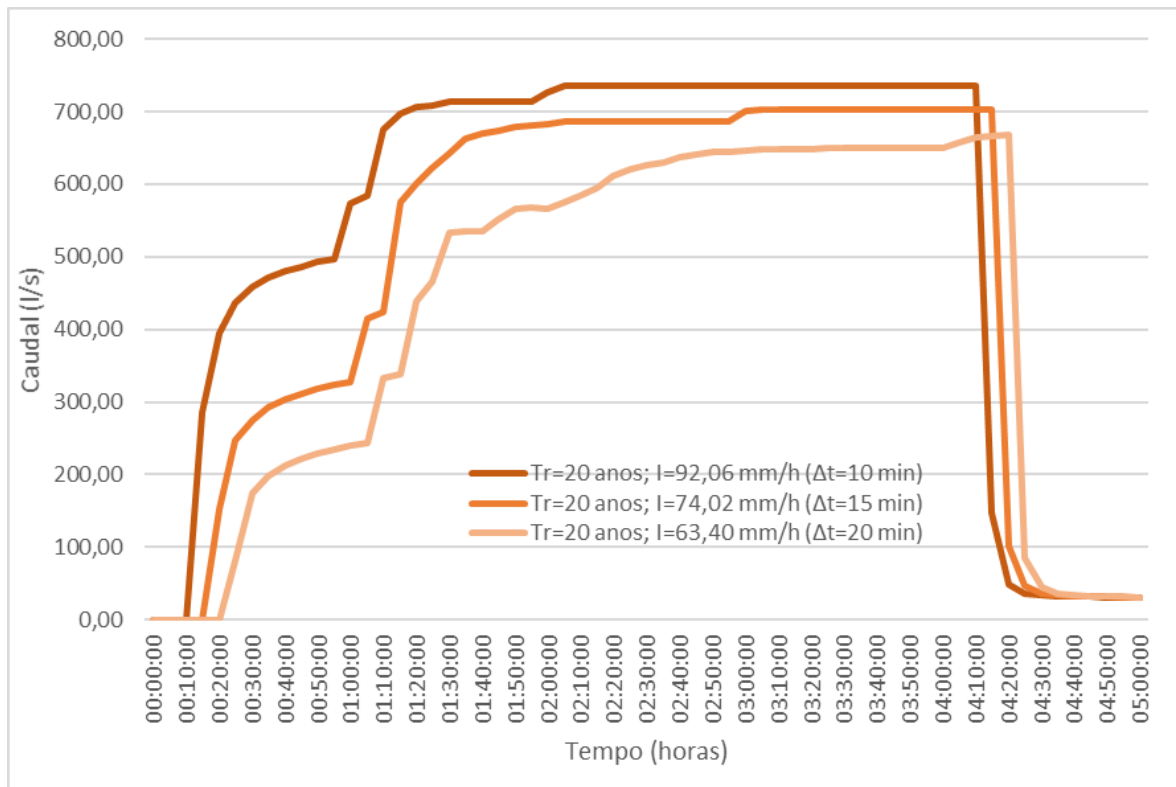


Figura 31 - Tempo de concentração da Rede 2 (com LID) para Tr=20 anos.

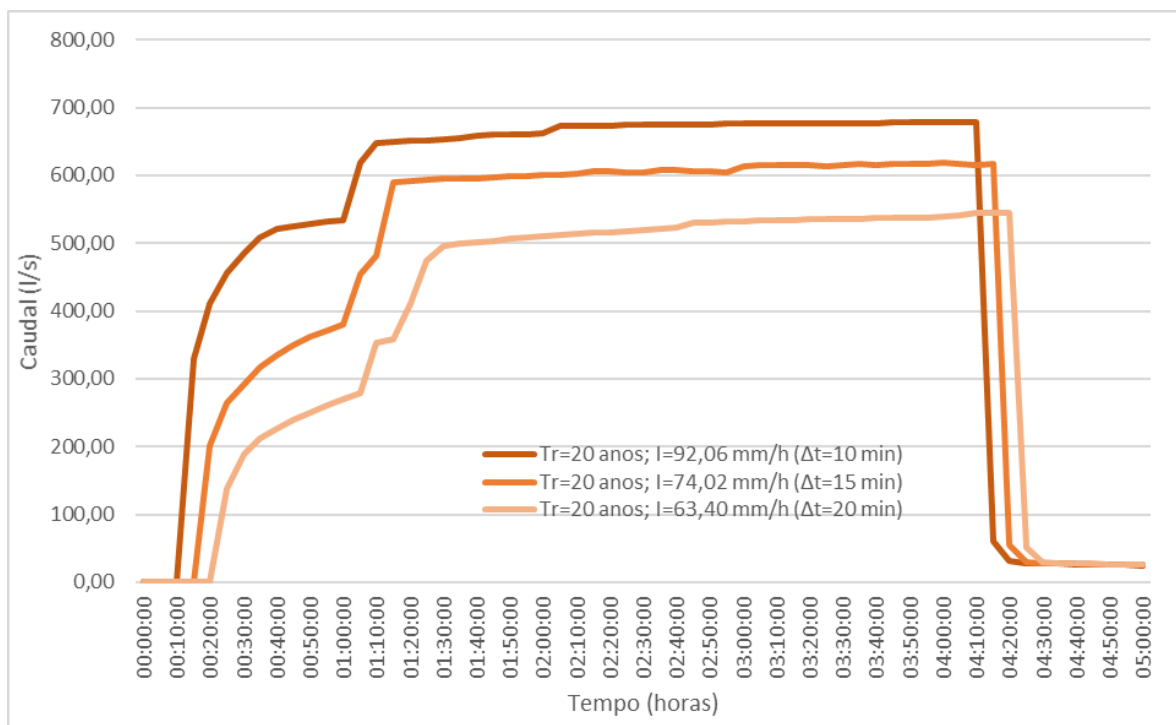


Figura 32 - Tempo de concentração da Rede 3 (com LID) para Tr=20 anos.

Realizando uma análise das Figuras 30, 31 e 32, é possível constatar que os tempos de concentração aproximados para as Redes 1, 2 e 3, após a utilização do sistema LID, são respetivamente 60 minutos, 2 horas e 30 minutos e 1 hora e 15 minutos.

É possível observar que, para a simulação do período de retorno 20 anos, todas as redes apresentaram um comportamento semelhante ao obtido para uma chuvada com um período de retorno de 10 anos, sendo que a principal diferença diz respeito ao valor do caudal máximo.

A Tabela 11 apresenta de forma resumida os resultados de tempo de concentração para todas as redes e ambos os tempos de retorno simulados.

**Tabela 11 - Resumo dos resultados de tempo de concentração.**

|                                 | <b>Rede 1</b> |               | <b>Rede 2</b> |               | <b>Rede 3</b> |               |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                                 | <b>S/ LID</b> | <b>C/ LID</b> | <b>S/ LID</b> | <b>C/ LID</b> | <b>S/ LID</b> | <b>C/ LID</b> |
| <b>Tempo de Retorno 10 Anos</b> | 30            | 60            | 35            | 115           | 25            | 80            |
| <b>Tempo de Retorno 20 Anos</b> | 30,00         | 60,00         | 30,00         | 150,00        | 25,00         | 75,00         |

## **4.2. Caudal de ponta máximo**

Para a análise do caudal de ponta máximo nas redes de drenagem, foi realizada a modelação/simulação de chuvadas de intensidade variando conforme os hietogramas para os períodos de retorno de 10 e 20 anos apresentados anteriormente nas Figuras 19 e 20, respetivamente.

Nas Figuras 33, 34 e 35, apresentam-se as variações dos caudais de ponta máximo a jusante das Redes 1, 2 e 3, antes e depois da utilização do sistema LID, medidas em litros por segundo, para  $Tr=10$  anos.

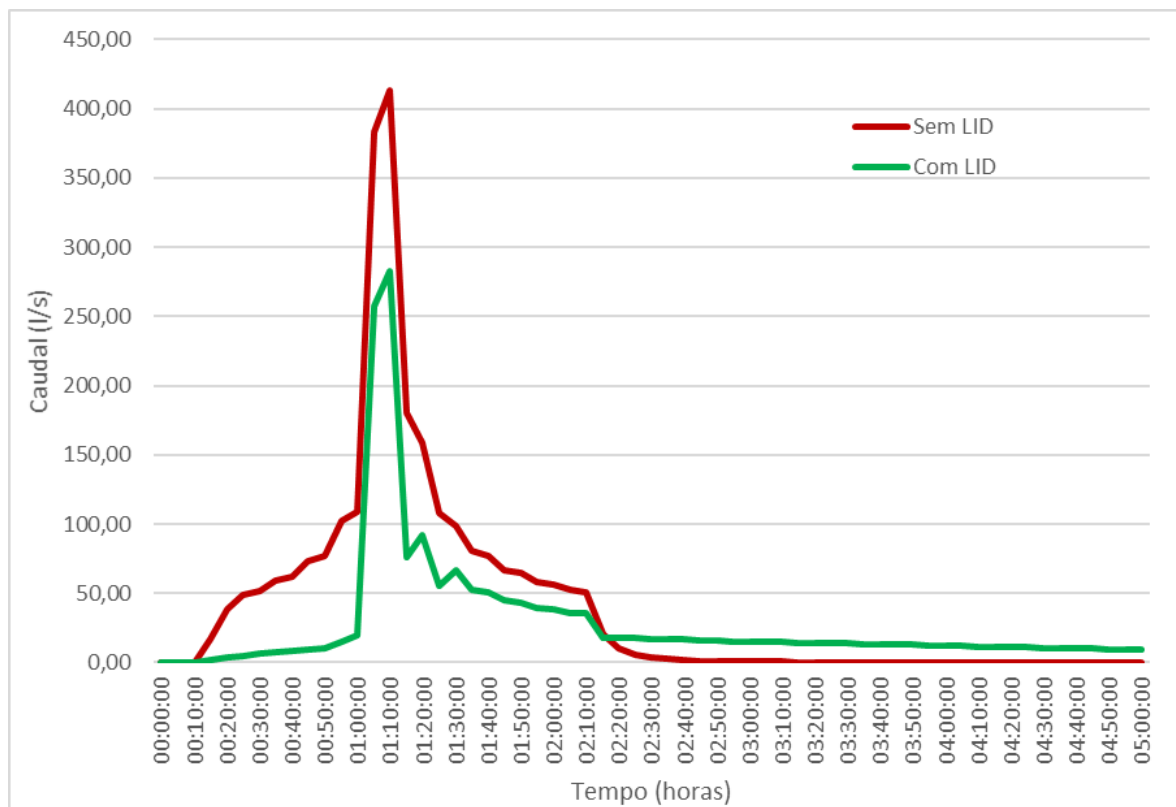


Figura 33 – Variação do caudal de ponta máximo na Rede 1, antes e depois da instalação do sistema LID, para  $Tr=10$  anos.

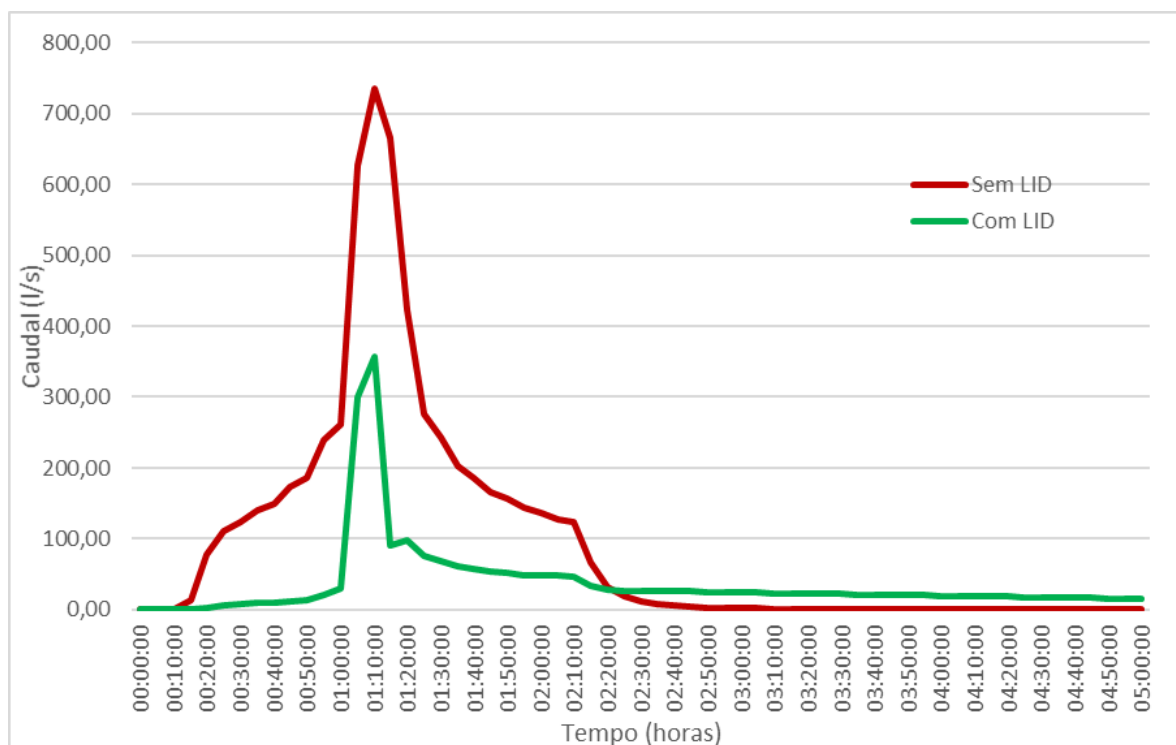


Figura 34 – Variação do caudal de ponta máximo na Rede 2, antes e depois da instalação do sistema LID, para  $Tr=10$  anos.

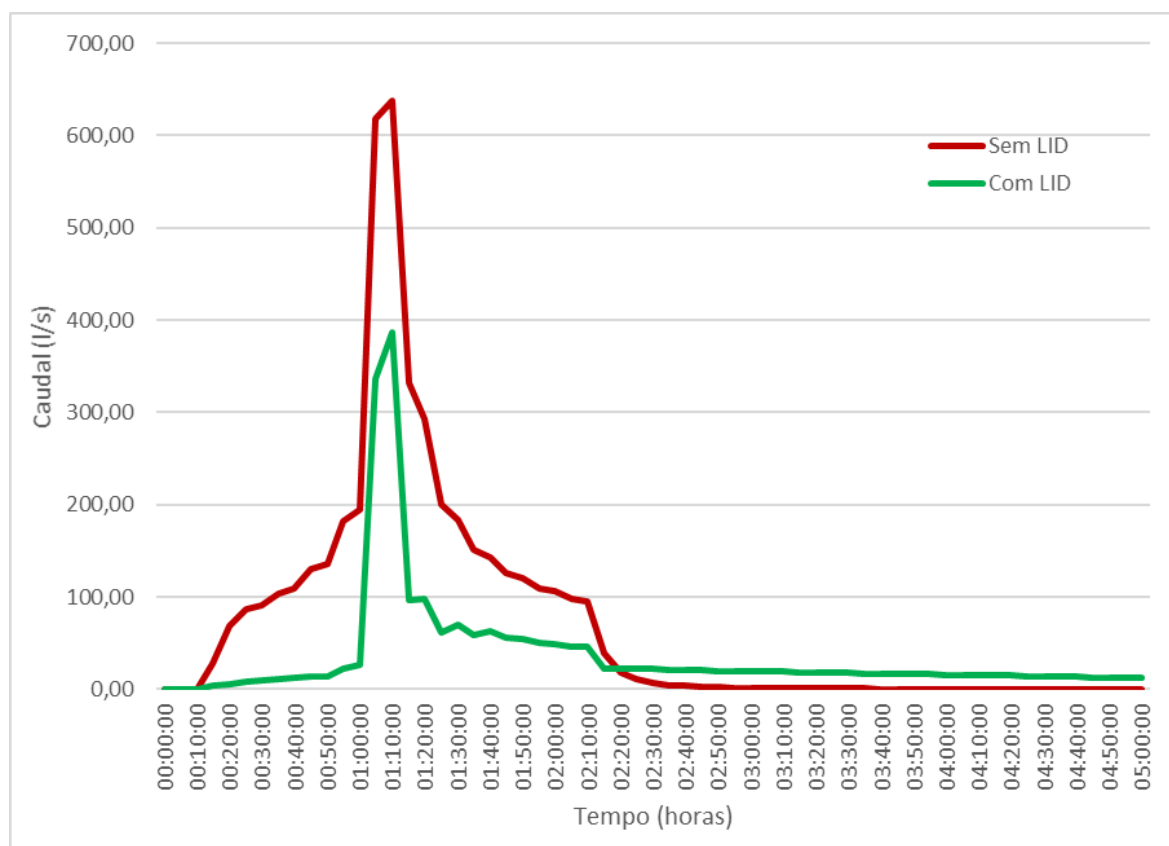


Figura 35 – Variação do caudal de ponta máxima na Rede 3, antes e depois da instalação do sistema LID, para  $Tr=10$  anos.

Na Figura 33 é possível observar a variação do caudal de 412,91 l/s, sem LID, para 280,33 l/s, com LID, o que representa uma redução de 32% no escoamento na Rede 1 a jusante.

Os resultados representados na Figura 34 possibilitam constatar uma variação no caudal máximo na ordem dos 54%, de 735,14 l/s, antes da utilização do LID, para 338,99 l/s, após utilização do LID.

Da Figura 35 é possível verificar uma alteração no caudal máximo na ordem dos 35%, com valores de 638,13 l/s, sem LID, e 411,83 l/s com LID.

Outro aspeto que merece destaque é que na rede sem LID se percebe um aumento gradativo no caudal a partir de 10 minutos até ao final da primeira hora de simulação, mas como se observa, a primeira hora de simulação com LID registra caudal aproximadamente igual zero, devido à retenção/infiltração da precipitação nos reservatórios do pavimento permeável.

Além disso, vale salientar o observado após o final do período de precipitação, a partir de 2 horas de simulação, onde se observa, para a rede sem o sistema LID, a rápida atenuação do

caudal até atingir o valor zero, o que indica que toda a água precipitada já escoou para jusante da rede, porém quando se verifica os resultados para a rede com a utilização do sistema LID é possível constatar a presença de água na tubagem até o final da simulação, que ocorre 3 horas após o fim da chuvada, comprovando a retenção da chuvada por um período de tempo consideravelmente superior.

Ao se analisar os resultados de cada uma das redes, foi possível perceber que a rede que apresenta a maior redução no caudal de ponta máximo foi a Rede 2. Isso acontece porque, como visto na Figura 15, a Rede 2 se encontra, em sua maior parte, sobre solo de permeabilidade média o que evidencia o quanto o tipo solo pode otimizar o desempenho do sistema.

Por fim, deve-se evidenciar que entre os resultados esperados estava a variação no tempo em que ocorre o pico de chuvada após a instalação do sistema LID, facto este que não se observou devido ao tamanho reduzido da bacia de drenagem desta rede o que não proporciona a observação do referido resultado.

A análise das Figuras 36, 37 e 38, permite observar os resultados das comparações das variações dos caudais de ponta máximo nas Redes 1, 2 e 3 para a simulação de  $Tr=20$  anos, antes e depois da instalação do sistema LID.

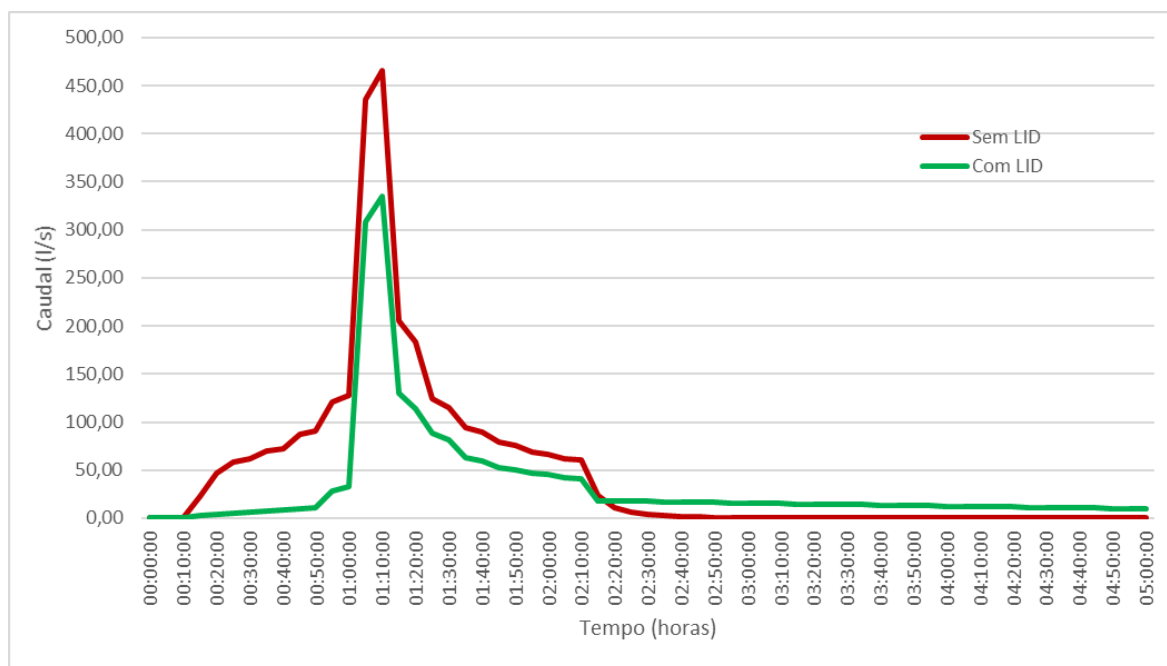


Figura 36 – Variação do caudal de ponta máximo na Rede 1, antes e depois da instalação do sistema LID, para  $Tr=20$  anos.

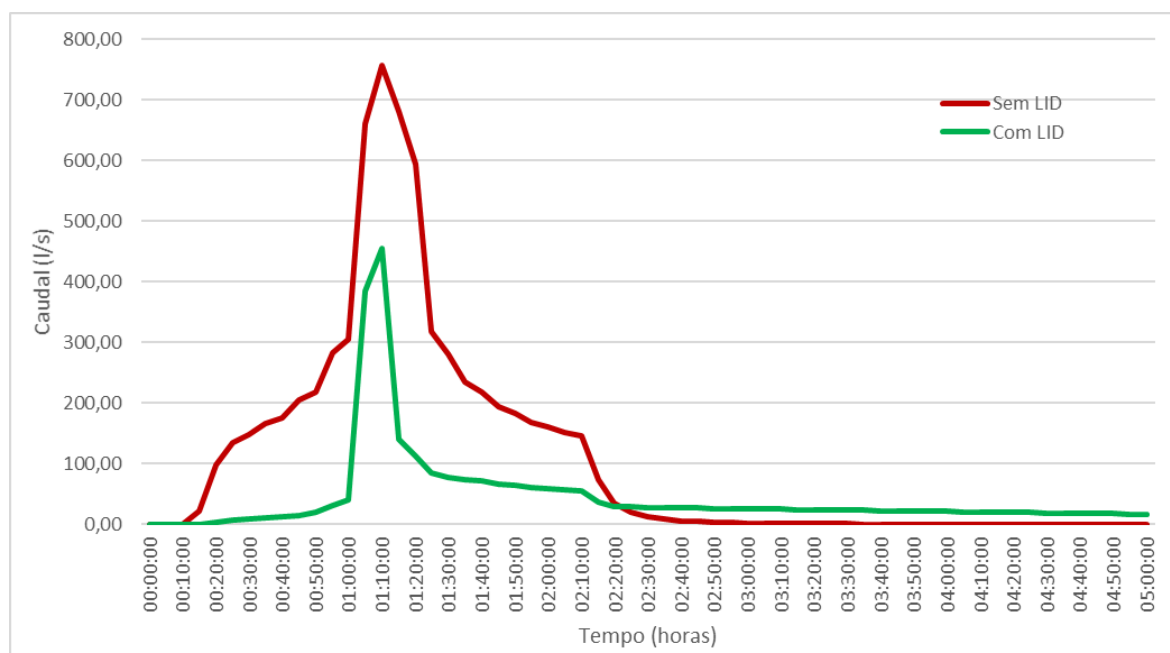


Figura 37 –Variação do caudal de ponta máximo na Rede 2, antes e depois da instalação do sistema LID, para  $Tr=20$  anos.

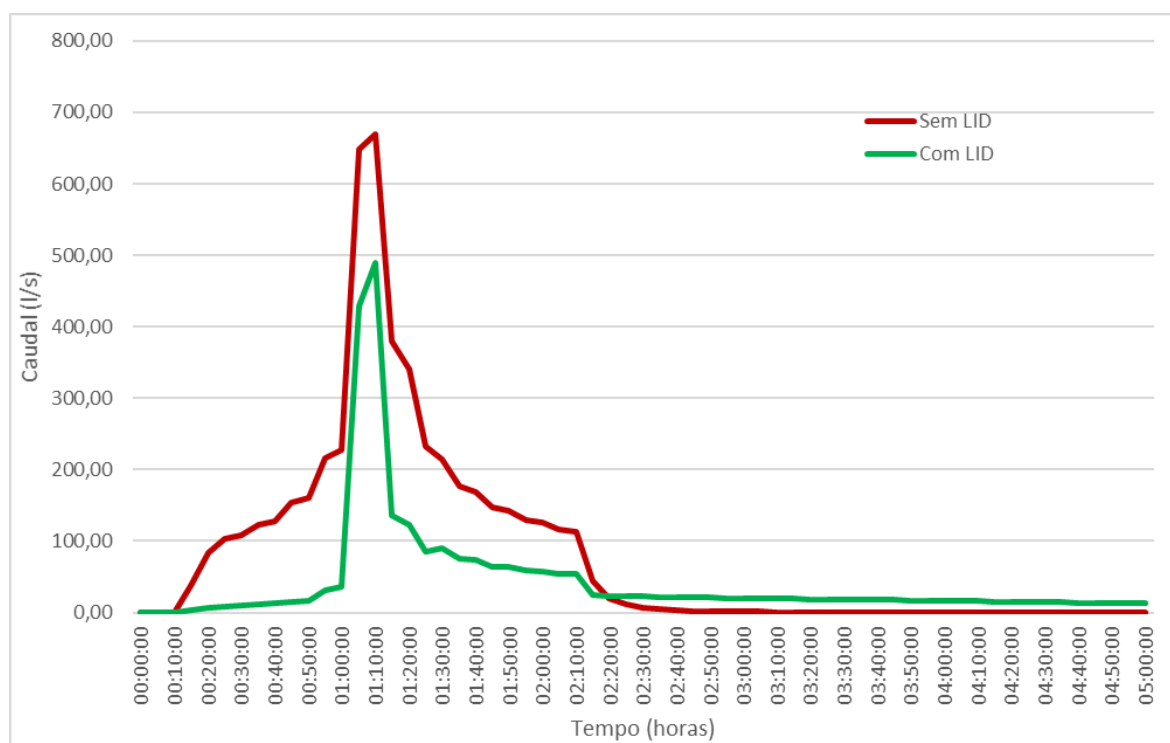


Figura 38 – Variação do caudal de ponta máximo na Rede 3, antes e depois da instalação do sistema LID, para  $Tr=20$  anos.

As conclusões são tiradas tomando como base uma análise que segue os mesmos parâmetros da simulação com período de retorno 10 anos, destacando-se que os volumes registrados são mais elevados, devido ao facto de  $Tr = 20$  anos apresentar chuvadas de intensidade superior,

porém o desempenho das redes é semelhante, o que pode ser observado comparando as variações em percentagem em ambas as simulações. Resumidamente, os resultados obtidos são:

- Rede 1 - Os caudais de ponta máximo antes e depois do LID são, respetivamente, 465,82 l/s e 331,60 l/s (redução de 29%);
- Rede 2 - Os caudais de ponta máximo antes e depois do LID são, respetivamente, 756,78 l/s e 448,88 l/s (redução de 41%);
- Rede 3 - Os caudais de ponta máximo antes e depois do LID são, respetivamente, 669,04 l/s e 522,91 l/s (redução de 22%).

Na Tabela 12 pode ser observado um resumo dos resultados de caudal de ponta máximo encontrados em todas as redes e ambos os tempos de retorno simulados.

**Tabela 12 - Resumo dos resultados de caudal de ponta máximo.**

|                                 | Rede 1 |        | Rede 2 |        | Rede 3 |        |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                 | S/ LID | C/ LID | S/ LID | C/ LID | S/ LID | C/ LID |
| <b>Tempo de Retorno 10 Anos</b> | 412,91 | 280,33 | 735,14 | 338,99 | 638,13 | 411,13 |
| <b>Tempo de Retorno 20 Anos</b> | 465,82 | 331,60 | 756,78 | 448,88 | 669,04 | 522,91 |

### 4.3. Escoamento superficial

Seguindo os mesmos moldes da análise do caudal de ponta máximo, será realizado o estudo comparativo do escoamento superficial das sub-bacias das redes de drenagem antes e depois da implementação do sistema LID, utilizando a modelação/simulação de chuvadas de intensidade variando conforme os hietogramas apresentados, respetivamente, nas Figuras 19 e 20.

Os resultados de escoamento superficial serão retirados diretamente do software SWMM. Este faz a análise de todo o volume de água que entra na sub-bacia, por meio de precipitação ou do escoamento a montante, e subtrai todas as perdas (infiltração, evaporação, etc.), sendo esta diferença igual ao escoamento superficial.

A variação percentual é calculada seguindo o exposto na equação 3.

$$Variação (\%) = \frac{ES_{c/LID} - ES_{s/LID}}{ES_{s/LID}} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

Variação (%) – Variação percentual do escoamento superficial;

$ES_{c/LID}$  – Escoamento superficial com a utilização do sistema LID, em l/s;

$ES_{s/LID}$  – Escoamento superficial sem a utilização do sistema LID, em l/s.

As Tabelas 13, 14 e 15, apresentam as comparações das variações de escoamentos superficiais nas sub-bacias que compõem as Redes 1, 2 e 3, antes e depois da utilização do sistema LID, medidas em litros por segundo, para  $Tr = 10$  anos.

**Tabela 13 - Variação do escoamento superficial na Rede 1 para  $Tr=10$  anos.**

| Sub-bacia | Contribuição direta | Escoamento superficial – s/LID (l/s) | Escoamento superficial – c/LID (l/s) | Variação (%) |
|-----------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| S4        | S1 S2 S3            | 664,01                               | 216,18                               | -67,44       |
| S6        | S5                  | 167,82                               | 2,43                                 | -98,55       |
| S8        | S7                  | 218,69                               | 190,16                               | -13,05       |
| S11       | S9 S10              | 37,80                                | 36,94                                | -2,28        |
| S12       | -                   | 135,75                               | 132,26                               | -2,57        |
| S15       | S13 S14             | 747,95                               | 650,31                               | -13,05       |
| S18       | S15 S16             | 566,81                               | 461,89                               | -18,51       |
|           | Média               | 362,69                               | 241,45                               | -30,78       |

A partir análise da Tabela 13, fica evidente a redução do escoamento superficial na Rede 1, sendo as bacias S4 e S6 com reduções significativas devido à grande contribuição da capacidade de infiltração que o solo possui nessa zona da área de estudo. Nas demais sub-bacias a redução é mais modesta por se tratar de solo de permeabilidade muito baixa.

**Tabela 14 - Variação do escoamento superficial na Rede 2 para  $Tr=10$  anos.**

| Sub-bacia | Contribuição direta | Escoamento superficial – S/LID (l/s) | Escoamento superficial – C/LID (l/s) | Variação (%) |
|-----------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| S19       | -                   | 32,41                                | 31,75                                | -2,04        |
| S22       | S20 S21             | 944,57                               | 843,66                               | -10,68       |
| S24       | S23                 | 227,11                               | 26,19                                | -88,47       |
| S26       | S25                 | 119,34                               | 0,00                                 | -100,00      |
| S29       | S27 S28             | 89,02                                | 18,74                                | -78,95       |
| S32       | S30 S31             | 266,90                               | 164,31                               | -38,44       |
| S34       | S33                 | 58,24                                | 1,19                                 | -97,96       |
| S36       | S35                 | 130,42                               | 0,00                                 | -100,00      |
| S40       | S37 S38 S39         | 285,42                               | 29,73                                | -89,58       |
| S43       | S41 S42             | 227,73                               | 10,66                                | -95,32       |
| S46       | S44 S45             | 391,17                               | 61,22                                | -84,35       |
| S48       | S47                 | 174,57                               | 0,00                                 | -100,00      |

(Continuação) Tabela 14 - Variação do escoamento superficial na Rede 2 para Tr=10 anos.

|     |             |        |        |         |
|-----|-------------|--------|--------|---------|
| S50 | S49         | 226,78 | 4,57   | -97,98  |
| S53 | S51 S52     | 335,89 | 0,00   | -100,00 |
| S55 | S54         | 185,46 | 0,00   | -100,00 |
| S57 | S56         | 382,34 | 324,09 | -15,24  |
| S61 | S58 S59 S60 | 595,29 | 456,16 | -23,37  |
| S65 | S62 S63 S64 | 311,99 | 234,41 | -24,87  |
| S66 | -           | 130,62 | 0,00   | -100,00 |
| S69 | S67 S68     | 150,60 | 0,00   | -100,00 |
| S71 | S70         | 188,78 | 0,00   | -100,00 |
| S72 | -           | 54,35  | 0,00   | -100,00 |
| S74 | S73         | 132,25 | 1,53   | -98,84  |
| S76 | S75         | 161,88 | 1,79   | -98,89  |
| S78 | S777        | 128,86 | 4,65   | -96,39  |
| S79 | -           | 108,82 | 0,00   | -100,00 |
| S80 | -           | 97,65  | 0,00   | -100,00 |
|     | Média       | 227,35 | 82,02  | -79,31  |

Analisando a Tabela 14 é possível observar uma diminuição muito mais significativa do escoamento superficial na Rede 2, quando comparada aos resultados obtidos na Rede 1, o que é de se esperar se for colocado sob a análise que a capacidade de infiltração do solo é muito superior na maior parte das sub-bacias que compõe a Rede 2, chegando em alguns casos a uma redução de 100% do escoamento, o que representa que toda a água precipitada se infiltra no solo.

Tabela 15 - Variação do escoamento superficial na Rede 3 para Tr=10 anos.

| Sub-bacia | Contribuição direta         | Escoamento superficial – s/LID (l/s) | Escoamento superficial – c/LID (l/s) | Variação (%) |
|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| S82       | S81                         | 266,36                               | 10,96                                | -95,89       |
| S84       | S83                         | 185,81                               | 16,27                                | -91,24       |
| S85       | -                           | 76,78                                | 0,00                                 | -100,00      |
| S88       | S86 S87                     | 311,99                               | 62,02                                | -80,12       |
| S91       | S89 S90                     | 276,86                               | 59,58                                | -78,48       |
| S94       | S92 S93                     | 232,18                               | 177,47                               | -23,56       |
| S96       | S95                         | 188,53                               | 162,90                               | -13,59       |
| S99       | S97 S98                     | 326,52                               | 285,61                               | -12,53       |
| S102      | S100 S101                   | 197,23                               | 153,36                               | -22,24       |
| S103      | -                           | 82,20                                | 80,16                                | -2,48        |
| S109      | S104 S105 S106<br>S107 S108 | 540,23                               | 482,31                               | -10,72       |
| S114      | S110 S111<br>S112 S113      | 524,13                               | 454,81                               | -13,23       |
| S115      | -                           | 12,72                                | 12,72                                | 0,00         |
| S116      | -                           | 12,04                                | 12,04                                | 0,00         |
| S117      | -                           | 30,50                                | 28,93                                | -5,15        |
| S120      | S118 S119                   | 508,03                               | 9,33                                 | -98,16       |
| S124      | S121 S122 S123              | 314,64                               | 26,90                                | -91,45       |
| S126      | S125                        | 106,77                               | 2,00                                 | -98,13       |
| S127      | -                           | 19,72                                | 19,72                                | 0,00         |
| S128      | -                           | 24,59                                | 0,00                                 | -100,00      |
| S129      | -                           | 68,66                                | 0,00                                 | -100,00      |
| S132      | S130 S131                   | 285,77                               | 21,25                                | -92,56       |
| S133      | -                           | 32,27                                | 32,27                                | 0,00         |
|           | Média                       | 201,07                               | 91,77                                | -49,11       |

Na Tabela 15, é possível constatar que na Rede 3, os padrões ocorridos nas Redes 1 e 2, citadas anteriormente, se repetem, sendo observado que para sub-bacias com maior capacidade de infiltração possuem uma capacidade de redução do escoamento muito superior às demais. Para esta rede é importante destacar o ocorrido nas sub-bacias S115, S116, S127 e S133, que apresentam variações de escoamento superficial iguais a zero por se tratarem de sub-bacias que não serão substituídas por pavimentos permeáveis, como citado no capítulo de descrição da zona de estudo.

A análise das Tabelas 16, 17 e 18, permite observar os resultados das variações de escoamentos superficiais nas sub-bacias que compõem as Redes 1, 2 e 3 para a simulação de Tr=20 anos, antes e depois da instalação do sistema LID.

Tabela 16 - Variação do escoamento superficial na Rede 1 para Tr=20 anos.

| Sub-bacia | Contribuição direta | Escoamento superficial – s/LID (l/s) | Escoamento superficial – c/LID (l/s) | Variação (%) |
|-----------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| S4        | S1 S2 S3            | 770,17                               | 278,16                               | -63,88       |
| S6        | S5                  | 194,11                               | 5,87                                 | -96,98       |
| S8        | S7                  | 253,42                               | 225,44                               | -11,04       |
| S11       | S9 S10              | 43,58                                | 41,68                                | -4,36        |
| S12       | -                   | 156,38                               | 149,33                               | -4,51        |
| S15       | S13 S14             | 866,71                               | 770,40                               | -11,11       |
| S18       | S15 S16             | 656,57                               | 548,88                               | -16,40       |
|           | Média               | 420,13                               | 288,54                               | -29,75       |

Tabela 17 - Variação do escoamento superficial na Rede 2 para Tr=20 anos.

| Sub-bacia | Contribuição direta | Escoamento superficial – s/LID (l/s) | Escoamento superficial – c/LID (l/s) | Variação (%) |
|-----------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| S19       | -                   | 37,38                                | 35,79                                | -4,25        |
| S22       | S20 S21             | 1095,01                              | 996,54                               | -8,99        |
| S24       | S23                 | 262,87                               | 35,17                                | -86,62       |
| S26       | S25                 | 137,85                               | 0,00                                 | -100,00      |
| S29       | S27 S28             | 103,25                               | 31,54                                | -69,45       |
| S32       | S30 S31             | 309,74                               | 207,39                               | -33,04       |
| S34       | S33                 | 67,38                                | 2,40                                 | -96,44       |
| S36       | S35                 | 150,76                               | 0,00                                 | -100,00      |
| S40       | S37 S38 S39         | 330,66                               | 40,79                                | -87,66       |
| S43       | S41 S42             | 263,67                               | 19,21                                | -92,71       |
| S46       | S44 S45             | 453,35                               | 83,45                                | -81,59       |
| S48       | S47                 | 201,80                               | 1,62                                 | -99,20       |
| S50       | S49                 | 262,40                               | 9,26                                 | -96,47       |
| S53       | S51 S52             | 387,90                               | 0,00                                 | -100,00      |
| S55       | S54                 | 214,04                               | 0,00                                 | -100,00      |
| S57       | S56                 | 442,00                               | 360,53                               | -18,43       |
| S61       | S58 S59 S60         | 689,32                               | 514,39                               | -25,38       |
| S65       | S62 S63 S64         | 361,51                               | 285,01                               | -21,16       |
| S66       | -                   | 150,56                               | 0,00                                 | -100,00      |
| S69       | S67 S68             | 174,14                               | 0,94                                 | -99,46       |
| S71       | S70                 | 218,17                               | 0,00                                 | -100,00      |
| S72       | -                   | 62,63                                | 0,00                                 | -100,00      |
| S74       | S73                 | 152,97                               | 4,25                                 | -97,22       |
| S76       | S75                 | 187,25                               | 5,12                                 | -97,27       |
| S78       | S77                 | 149,20                               | 9,46                                 | -93,66       |
| S79       | -                   | 125,40                               | 0,00                                 | -100,00      |
| S80       | -                   | 112,53                               | 0,00                                 | -100,00      |
|           | Média               | 263,10                               | 97,88                                | -78,11       |

**Tabela 18 -Variação do escoamento superficial na Rede 3 para Tr=20 anos.**

| <b>Sub-bacia</b> | <b>Contribuição direta</b>  | <b>Escoamento superficial – s/LID (l/s)</b> | <b>Escoamento superficial – c/LID (l/s)</b> | <b>Variação (%)</b> |
|------------------|-----------------------------|---|---|---------------------|
| S82              | S81                         | 308,28                                      | 20,85                                       | -93,24              |
| S84              | S83                         | 215,14                                      | 23,33                                       | -89,16              |
| S85              | -                           | 88,48                                       | 0,00  | -100,00             |
| S88              | S86 S87                     | 361,64                                      | 83,17                                       | -77,00              |
| S91              | S89 S90                     | 320,91                                      | 78,65                                       | -75,49              |
| S94              | S92 S93                     | 268,81                                      | 200,65                                      | -25,36              |
| S96              | S95                         | 217,92                                      | 181,20                                      | -16,85              |
| S99              | S97 S98                     | 388,57                                      | 349,30                                      | -10,11              |
| S102             | S100 S101                   | 234,83                                      | 195,02                                      | -16,95              |
| S103             | -                           | 94,69                                       | 90,50                                       | -4,42               |
| S109             | S104 S105 S106<br>S107 S108 | 626,09                                      | 568,48                                      | -9,20               |
| S114             | S110 S111<br>S112 S113      | 607,41                                      | 538,08                                      | -11,41              |
| S115             | -                           | 14,63                                       | 14,63                                       | 0,00                |
| S116             | -                           | 13,85                                       | 13,85                                       | 0,00                |
| S117             | -                           | 35,14                                       | 32,86                                       | -6,49               |
| S120             | S118 S119                   | 599,60                                      | 26,68                                       | -95,55              |
| S124             | S121 S122 S123              | 364,37                                      | 38,95                                       | -89,31              |
| S126             | S125                        | 123,53                                      | 4,20  | -96,60              |
| S127             | -                           | 22,72                                       | 22,72                                       | 0,00                |
| S128             | -                           | 28,35                                       | 0,00  | -100,00             |
| S129             | -                           | 79,09                                       | 0,00  | -100,00             |
| S132             | S130 S131                   | 330,76                                      | 32,13                                       | -90,29              |
| S133             | -                           | 37,18                                       | 37,18                                       | 0,00                |
|                  | <b>Média</b>                | <b>234,00</b>                               | <b>110,98</b>                               | <b>-48,15</b>       |

A exemplo do que se observou na comparação do caudal de ponta máximo para a simulação de Tr = 10 anos e Tr = 20 anos, o escoamento superficial apresenta valores de variação na mesma ordem de grandeza para ambas as simulações de período de retorno, o que indica um comportamento semelhante; entretanto se observa um volume maior de água escoada, facto este que é justificado pela intensidade de chuvada ser superior para o tempo de retorno de 20 anos.

A Tabela 19 apresenta de forma resumida os resultados de escoamento superficial obtidos, em todas as redes e ambos os tempos de retorno simulados.

**Tabela 19 - Resumo dos resultados de escoamento superficial.**

|                                 | <b>Rede 1</b> |               | <b>Rede 2</b> |               | <b>Rede 3</b> |               |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                                 | <b>S/ LID</b> | <b>C/ LID</b> | <b>S/ LID</b> | <b>C/ LID</b> | <b>S/ LID</b> | <b>C/ LID</b> |
| <b>Tempo de Retorno 10 Anos</b> | 362,69        | 241,45        | 227,35        | 82,02         | 201,07        | 91,77         |
| <b>Tempo de Retorno 20 Anos</b> | 420,13        | 288,54        | 263,10        | 97,88         | 234,00        | 110,98        |

Analisando os resultados apresentados na Tabela 19, é possível notar que a Rede 2, novamente, é aquela que apresenta os melhores resultados. A explicação se origina novamente na Figura 15, onde se observa que a Rede 2 se encontra, em sua maior parte, sobre solo de permeabilidade média demonstrando mais uma vez o quanto essa tecnologia pode ser potencializada pelo tipo de solo onde é instalado.

---

## 5. Conclusões

Com o aumento da população mundial, fica cada vez mais clara a influência do ser humano em diversos aspetos naturais, como a alteração do ciclo hidrológico em bacias de drenagem nas quais se encontram as grandes cidades, que são agravados ainda pelas alterações climáticas que tornam os eventos climáticos de maior intensidade cada vez mais frequentes. Com o objetivo de trazer uma alternativa às soluções mais tradicionais de drenagem urbana, surgiram os sistemas de drenagem sustentáveis como os pavimentos permeáveis.

A intenção do presente trabalho foi entender de forma objetiva como a utilização de pavimentos permeáveis pode ter uma influência positiva na redução do impacto causado pela impermeabilização do solo nas cidades. O estudo de caso foi realizado na Urbanização dos Capuchos, na zona urbana da cidade de Leiria, que foi escolhida por se tratar de uma zona urbana consolidada onde se conhecem diversas características da rede de drenagem e fisiográficas da bacia de drenagem. Simulações de diferentes tipos de chuvadas foram efetuadas para a obtenção dos resultados de desempenho da rede antes e depois da utilização dos sistemas LID, sendo selecionados como parâmetros de análise os dados referentes ao tempo de concentração, caudal de ponta máximo e escoamento superficial.

A partir da análise dos resultados obtidos nas simulações, ficam evidentes as vantagens que a utilização de pavimentos permeáveis proporciona, pois através dele foi possível a obtenção de incrementos no tempo de concentração superiores a 30 minutos, chegando até ao valor máximo de 1 hora e 55 minutos. A variação do caudal de ponta também foi significativa, com resultados de redução do caudal variando de 32% até 54%. Por sua vez, a variação do escoamento superficial obteve valores reduzidos em 10% a 20%, para sub-bacias localizadas sobre solo com baixa permeabilidade, chegando a porções com infiltração de toda a chuvada precipitada a montante das sub-bacias instaladas sobre solos com alta permeabilidade.

É importante observar que todos os valores máximos foram encontrados na Rede 2, o que demonstra o quanto este tipo de sistema pode ter sua eficiência potencializada com base na capacidade de infiltração do solo sobre o qual é instalado, pois esta rede se situa numa zona de solo predominantemente calcário (permeabilidade média), enquanto as Redes 1 e 3 se encontram predominantemente sobre solo argiloso (permeabilidade muito baixa). Verificou-

se ainda que o solo na zona da Rede 2 é 10 000 vezes mais permeável do que o verificado na zona onde se encontram as Redes 1 e 3.

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, é possível constatar os impactos positivos que a utilização dos pavimentos permeáveis teve sobre o desempenho da rede, o que ganha mais importância quando se estuda um cenário mais complexo de diversas redes interligadas como ocorre em uma cidade. Isto contribui para o argumento de que os sistemas de drenagem sustentáveis devem ser cada vez mais considerados como alternativa para a solução dos problemas de drenagem dos grandes centros populacionais. Portanto, recomenda-se como estudo subsequente uma análise detalhada de custo, tanto de instalação quanto de operação, ao longo da vida útil do pavimento, com o objetivo de averiguar a viabilidade económica deste sistema.

## Referências

- Araújo, P. R., Tucci, C. E. M., & Goldenfum, J. A. (2000). Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. *Revista Brasileira dos Recursos Hídricos*. v. 5, n. 3, p. 21-29.
- Associação Brasileira de Cimento Portland. (2010). *Cartilha Melhores Práticas - Pavimento Intertravado Permeável*. São Paulo: ABCP.
- Associação Brasileira de Cimento Portland. (2011). *Projeto técnico: Pavimentos Permeáveis*. São Paulo: ABCP.
- Broekhuizen, I., Muthanna, T. M., Leonhardt, G., & Viklander, M. (2019). Urban drainage models for green areas: Structural differences and their effects on simulated runoff. *Journal of Hydrology X*. v. 5, p. 1- 13.
- Butler, D., & Davies, J. W. (2011). *Urban drainage*. ed. 3. Abingdon: Spon Press.
- Câmara Municipal de Leiria. (2011). *Mapas Interativos – Leiria em números*. Leiria. Disponível em: <<http://cm-leiria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=a9514465941847b791777749902076ca>>. Acesso em: 28 abr 2020.
- Câmara Municipal de Leiria. (2011). *Mapas Interativos – Retratos de freguesia*. Leiria. Disponível em: <<http://cm-leiria.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=27c21a15f0d348b6b08dc360fd1e6659>>. Acesso em: 28 abr 2020.
- Câmara Municipal de Leiria. (2017). *Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas*, Leiria.
- Câmara Municipal de Leiria. (2020). *Gabinete de Infraestrutura. Cadastro Saneamento Geral\_Urbanização dos Capuchos*. Leiria.
- Chow, V. T., Maidement, D. R., & Mays, L. M. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw Hill Book Company.

- Construction Industry Research and Information Association. (2007). Site handbook for the construction of SUDS. CIRIA C698. Londres: CIRIA.
- Construction Industry Research and Information Association. (2015). The SUDS Manual. CIRIA C753. Londres: CIRIA.
- Construction Industry Research and Information Association. (2017). Guidance on the construction of SuDS. CIRIA C768. Londres: CIRIA.
- Das, B.M. (2006). Principles of Geotechnical Engineering. 6th Edition. New York: Thomson Press.
- Decreto Regulamentar n° 23, de 23 de agosto de 1995. (1995). Aprova o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais. Lisboa.
- Diário da República n° 124, de 29 de junho de 2018. (2018). 2.ª Alteração por Adaptação ao Plano Diretor Municipal (PDM) de Leiria. Lisboa.
- Eckart, K., McPhee, Z., Bolisetti, T. (2017). Performance and implementation of low impact development – A review. Science of the Total Environment. v. 607 – 608, p. 413-432.
- Environmental Protection Agency. (1999). Storm Water Technology Fact Sheet – Porous Pavement. Office of Water, Washington, DC: EPA.
- Environmental Protection Agency. (2010). Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.0. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, Cincinnati, OH: EPA.
- Environmental Protection Agency. (2015). Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.1. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, Cincinnati, OH: EPA.
- GOOGLE. Google Earth Pro. Version 7.3.3.7699. 2020. Nota: imagens de 2018. Leiria.
- Instituto Nacional de Estatística. (2011). Censos 2011 Resultados Definitivos - Região Centro. Lisboa: INE.

- Interpave. (2013). Understanding permeable paving: guidance for designers, developers, planners and local authorities. v. 5. Leicester: British precast concrete federation ltd.
- Miguez, M. G., Veról, A. P., Rezende, O. M. (2015). Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Pompêo, C. A. (2000). Drenagem urbana sustentável. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5, n. 1, p.15-23.
- Portela, M. M., Marques, P., Carvalho, F. F. (2000). *In*: Congresso da Água, 5, 2000, Lisboa. Hietogramas de Projeto para a análise de cheias baseada no modelo do hidrograma unitário do Soil Conservation Service (SCS). Lisboa.
- Relatório Geotécnico A. (2010). Relatório Geológico Geotécnico “Variante de Capuchos e Via Distribuidora Local”. Câmara Municipal de Leiria, Leiria.
- Schueler, T. R. (1987). Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs. Washington, DC: Washington Metropolitan Water Resources Planning Board.
- Sun, Y., Guo, R., Wang, X., & Ning, X. (2019). Dynamic response characteristics of permeable asphalt pavement based on unsaturated seepage. International Journal of Transportation Science and Technology. v. 8, p. 403-417.
- Teixeira, C., Zbyszewski, G., Torre de Assunção, C., & Manupella, G. (1968). Carta Geológica de Portugal, na escala 1/50 000. Notícia explicativa da folha 23-C (Leiria). Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Tucci, C. E., Porto, R. L. L., Barros, M. T. (1995). Drenagem urbana. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ABRH. p. 428.
- Tucci, C. E. M. (1997). Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos. v. 2, n. 2, p. 5-12.
- United States Department of Agriculture. (1986). SCS Urban Hydrology for Small Watersheds. 2nd Ed., (TR-55). Washington, DC: USDA.

- Veiga, A. Q. (2012). Caracterização geotécnica dos terrenos do vale tifónico Parceiros-Leiria. Coimbra. Obtido de <http://hdl.handle.net/10316/19906>>. Tese de doutoramento
- Wang, Y., Li, H., Abdelhady, A., & Harvey, J. (2018). Initial evaluation methodology and case studies for life cycle impact of permeability of permeable pavements. *International Journal of Transportation Science and Technology*. v. 7, p. 169-178.
- Zhou, Q. (2014). A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Journal Water*. v. 6, p. 976-992.
- Zhu, H., Yu, M., Zhu, J., Lu, H., & Cao, R. (2018). Simulation study on effect of permeable pavement on reducing flood risk of urban runoff. *International Journal of Transportation Science and Technology*. v. 8, p. 373-382

## Anexos

### Anexo A: Tabela Curva-Número

**Tabela A-1 – Tabela Curva-Número**  
(Adaptado de SCS Urban Hydrology for Small Watersheds - TR-55 (1986), 2 ed.)

| Descrição do Uso do Solo   | Classe Hidrológica do Solo |    |    |    |
|--|----------------------------|----|----|----|
|  | A                          | B  | C  | D  |
| <b>Terra Cultivada</b>   |                            |    |    |    |
| Sem tratamento para a conservação  | 72                         | 81 | 88 | 91 |
| Com tratamento para a conservação  | 62                         | 71 | 78 | 81 |
| <b>Pastagem</b>  |                            |    |    |    |
| Condição ruim  | 68                         | 79 | 86 | 89 |
| Condição boa   | 39                         | 61 | 74 | 80 |
| <b>Campo</b>   |                            |    |    |    |
| Condição boa   | 30                         | 58 | 71 | 78 |
| <b>Floresta</b>  |                            |    |    |    |
| Densidade baixa, coberturas pobres, sem cobertura                            | 45                         | 66 | 77 | 83 |
| Boa cobertura  | 25                         | 55 | 70 | 77 |
| <b>Espaços abertos, gramados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.</b> |                            |    |    |    |
| Condição boa: cobertura de grama em 75% ou mais na área                      | 39                         | 61 | 74 | 80 |
| Condição justa: cobertura de grama em 50-75% da área                         | 49                         | 69 | 79 | 84 |
| <b>Áreas comerciais e de negócios (85% impermeáveis)</b>                     |                            |    |    |    |
|  | 89                         | 92 | 94 | 95 |
| <b>Distritos industriais (72% impermeáveis)</b>                              |                            |    |    |    |
|  | 81                         | 88 | 91 | 93 |
| <b>Residencial</b>   |                            |    |    |    |
| <b>Tamanho médio do lote (% impermeável)</b>                                 |                            |    |    |    |
| 0,05 ha ou menos (65)  | 77                         | 85 | 90 | 92 |
| 0,10 ha (38)   | 61                         | 75 | 83 | 87 |
| 0,13 ha (30)   | 57                         | 72 | 81 | 86 |
| 0,20 ha (25)   | 54                         | 70 | 80 | 85 |
| 0,40 ha (20)   | 51                         | 68 | 79 | 84 |
| <b>Estacionamento pavimentado, telhados, calçadas, etc.</b>                  |                            |    |    |    |
|  | 98                         | 98 | 98 | 98 |
| <b>Ruas e estradas</b>   |                            |    |    |    |
| Pavimentada com meio fio e drenagem  | 98                         | 98 | 98 | 98 |
| Em cascalho  | 76                         | 85 | 89 | 91 |
| Sujas  | 72                         | 82 | 87 | 89 |

Anexo B: Dimensionamento hidráulico das Redes 1, 2 e 3.

**Tabela B-1 – Dimensionamento hidráulico da Rede 1**

|        | Troço | Designação |         | Lcolector<br>(m) | CTmont<br>(m) | CTjus<br>(m) | Iterreno<br>(%) | Imin<br>(%) | Imax<br>(%) | Pmin<br>(m) | Rm<br>(m) | Icol<br>(%) | Rj<br>(m) | $\Delta y$<br>(m) |
|--------|-------|------------|---------|------------------|---------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------------|
|        |       | Montante   | Jusante |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |
| Rede 1 | 1     | cx1        | cx2     | 41               | 83,70         | 79,00        | 11,41           | 0,56        | 15,00       | 1,38        | 1,38      | 11,41       | 1,38      | 0,00              |
|        | 2     | cx2        | cx3     | 23               | 79,00         | 76,10        | 12,85           | 0,75        | 15,00       | 1,38        | 1,38      | 12,85       | 1,38      | 0,00              |
|        | 3     | cx3        | cx4     | 25               | 76,10         | 73,50        | 10,48           | 1,12        | 15,00       | 1,38        | 1,38      | 10,48       | 1,38      | 0,00              |
|        | 4     | cx4        | cx5     | 26               | 73,50         | 71,50        | 7,76            | 2,28        | 15,00       | 1,38        | 1,38      | 7,76        | 1,38      | 0,00              |
|        | 5     | cx5        | cx6     | 60               | 71,50         | 66,80        | 7,82            | 2,64        | 14,73       | 1,38        | 1,38      | 7,82        | 1,38      | 0,00              |
|        | 6     | cx6        | cx7     | 27               | 66,80         | 64,30        | 9,42            | 4,94        | 12,10       | 1,38        | 1,38      | 9,42        | 1,38      | 0,00              |
|        | 7     | cx7        | E1      | 17               | 64,30         | 62,50        | 10,36           | 7,19        | 11,09       | 1,38        | 1,38      | 10,36       | 1,38      |                   |

Tabela B-2 – Dimensionamento hidráulico da Rede 2

| Troço  | Designação |         | Lcolector<br>(m) | CTmont<br>(m) | CTjus<br>(m) | Iterreno<br>(%) | Imin<br>(%) | Imax<br>(%) | Pmin<br>(m) | Rm<br>(m) | Icol<br>(%) | Rj<br>(m) | $\Delta y$<br>(m) |      |  |
|--------|------------|---------|------------------|---------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------------|------|--|
|        | Montante   | Jusante |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
| Rede 2 | 1          | cx8     | cx9              | 40            | 66,00        | 65,70           | 0,75        | 6,47        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 6,47      | 3,67              | 0,00 |  |
|        | 2          | cx9     | cx10             | 22            | 65,70        | 65,50           | 0,92        | 0,91        | 15,00       | 1,38      | 3,67        | 0,91      | 3,67              | 0,00 |  |
|        | 3          | cx10    | cx11             | 19            | 65,50        | 65,50           | 0,00        | 1,35        | 15,00       | 1,38      | 3,67        | 1,35      | 3,93              | 0,00 |  |
|        | 4          | cx11    | cx12             | 13            | 65,50        | 65,50           | 0,00        | 1,62        | 15,00       | 1,38      | 3,93        | 1,62      | 4,13              | 0,00 |  |
|        | 5          | cx12    | cx13             | 18            | 65,50        | 64,40           | 6,08        | 1,81        | 15,00       | 1,38      | 4,13        | 1,81      | 3,36              | 0,00 |  |
|        | 6          | cx13    | cx17             | 20            | 64,40        | 65,10           | -3,44       | 2,50        | 15,00       | 1,38      | 3,36        | 2,50      | 4,57              | 0,00 |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
|        | 1          | cx14    | cx24             | 21            | 65,20        | 64,00           | 5,63        | 2,00        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 5,63      | 1,38              | 5,16 |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
|        | 1          | cx15    | cx16             | 43            | 65,50        | 65,40           | 0,23        | 1,09        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 1,09      | 1,75              | 0,00 |  |
|        | 2          | cx16    | cx17             | 43            | 65,40        | 65,10           | 0,70        | 0,70        | 15,00       | 1,38      | 1,75        | 0,70      | 1,74              | 2,82 |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
|        | 1          | cx17    | cx19             | 51            | 65,10        | 66,40           | -2,53       | 1,27        | 11,36       | 1,49      | 4,57        | 1,27      | 6,52              | 0,00 |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
|        | 1          | cx18    | cx19             | 59            | 67,20        | 66,40           | 1,36        | 0,85        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 1,36      | 1,38              | 5,14 |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
|        | 1          | cx19    | cx23             | 52            | 66,40        | 65,70           | 1,34        | 2,02        | 9,66        | 1,49      | 6,52        | 2,02      | 6,87              | 0,00 |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
|        | 1          | cx20    | cx21             | 61            | 67,30        | 66,30           | 1,65        | 0,84        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 1,65      | 1,38              | 0,00 |  |
|        | 2          | cx21    | cx22             | 30            | 66,30        | 65,90           | 1,32        | 0,83        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 1,32      | 1,38              | 0,00 |  |
| 3      | cx22       | cx23    | 52               | 65,90         | 65,70        | 0,39            | 0,85        | 15,00       | 1,38        | 1,38      | 0,85        | 1,62      | 5,25              |      |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
| 1      | cx23       | cx24    | 40               | 65,70         | 64,00        | 4,24            | 3,41        | 8,21        | 1,49        | 6,87      | 3,41        | 6,54      | 0,00              |      |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
| 1      | cx24       | cx29    | 19               | 64,00         | 63,40        | 3,08            | 3,67        | 8,06        | 1,49        | 6,54      | 3,67        | 6,66      | 0,00              |      |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
| 1      | cx25       | cx26    | 16               | 67,40         | 64,60        | 18,01           | 1,48        | 15,00       | 1,38        | 1,85      | 15,00       | 1,38      | 0,00              |      |  |

(Continuação) Tabela B-2 – Dimensionamento hidráulico da Rede 2

| Troço | Designação |         | Lcolector | CTmont | CTjus | Iterreno | Imin | Imax  | Pmin | Rm   | Icol | Rj   | $\Delta y$ |
|-------|------------|---------|-----------|--------|-------|----------|------|-------|------|------|------|------|------------|
|       | Montante   | Jusante | (m)       | (m)    | (m)   | (%)      | (%)  | (%)   | (m)  | (m)  | (%)  | (m)  | (m)        |
| 2     | cx26       | cx27    | 25        | 64,60  | 64,40 | 0,81     | 1,48 | 15,00 | 1,38 | 1,38 | 1,48 | 1,54 | 0,00       |
| 3     | cx27       | cx28    | 38        | 64,40  | 63,90 | 1,33     | 1,16 | 15,00 | 1,38 | 1,54 | 1,16 | 1,48 | 0,00       |
| 4     | cx28       | cx29    | 19        | 63,90  | 63,40 | 2,65     | 1,10 | 15,00 | 1,38 | 1,48 | 2,12 | 1,38 | 5,28       |
|       |            |         |           |        |       |          |      |       |      |      |      |      |            |
| 1     | cx29       | cx30    | 31        | 63,40  | 61,30 | 6,89     | 4,22 | 7,79  | 1,49 | 6,66 | 4,22 | 5,84 | 0,00       |
| 2     | cx30       | cx31    | 39        | 61,30  | 59,50 | 4,62     | 4,22 | 7,79  | 1,49 | 5,84 | 4,22 | 5,69 | 0,00       |
| 3     | cx31       | E2      | 45        | 59,50  | 54,50 | 11,11    | 4,22 | 7,79  | 1,49 | 5,69 | 4,22 | 2,59 |            |

**Tabela B-3 – Dimensionamento hidráulico da Rede 3**

| Troço  | Designação |         | Lcolector<br>(m) | CTmont<br>(m) | CTjus<br>(m) | Iterreno<br>(%) | Imin<br>(%) | Imax<br>(%) | Pmin<br>(m) | Rm<br>(m) | Icol<br>(%) | Rj<br>(m) | $\Delta y$<br>(m) |      |  |
|--------|------------|---------|------------------|---------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------------|------|--|
|        | Montante   | Jusante |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
| Rede 3 | 1          | cx32    | cx33             | 27            | 86,00        | 84,00           | 7,52        | 1,12        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 7,52      | 1,38              | 0,00 |  |
|        | 2          | cx33    | cx34             | 34            | 84,00        | 80,00           | 11,81       | 0,75        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 11,81     | 1,38              | 0,00 |  |
|        | 3          | cx34    | cx35             | 36            | 80,00        | 77,30           | 7,51        | 0,67        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 7,51      | 1,38              | 0,00 |  |
|        | 4          | cx35    | cx36             | 28            | 77,30        | 75,30           | 7,13        | 0,73        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 7,13      | 1,38              | 0,00 |  |
|        | 5          | cx36    | cx37             | 52            | 75,30        | 72,10           | 6,19        | 1,21        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 6,19      | 1,38              | 0,00 |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
|        | 1          | cx38    | cx41             | 20            | 68,40        | 67,00           | 7,15        | 1,51        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 7,15      | 1,38              | 0,00 |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
|        | 1          | cx37    | cx39             | 39            | 72,10        | 70,70           | 3,61        | 1,62        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 3,61      | 1,38              | 0,00 |  |
|        | 2          | cx39    | cx40             | 27            | 70,70        | 69,30           | 5,23        | 2,17        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 5,23      | 1,38              | 0,00 |  |
|        | 3          | cx40    | cx41             | 42            | 69,30        | 67,00           | 5,50        | 2,52        | 14,97       | 1,38      | 1,38        | 5,50      | 1,38              | 0,00 |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
|        | 1          | cx41    | cx42             | 39            | 67,00        | 64,50           | 6,44        | 3,22        | 13,78       | 1,38      | 1,38        | 6,44      | 1,38              | 0,00 |  |
|        | 2          | cx42    | cx43             | 13            | 64,50        | 64,00           | 3,99        | 4,80        | 12,20       | 1,38      | 1,38        | 4,80      | 1,48              | 0,92 |  |
|        | 3          | cx43    | cx44             | 22            | 64,00        | 60,50           | 15,84       | 6,74        | 11,22       | 1,38      | 2,40        | 11,22     | 1,38              | 0,00 |  |
|        | 4          | cx44    | cx52             | 27            | 60,50        | 59,40           | 4,04        | 6,74        | 11,22       | 1,38      | 1,38        | 6,74      | 2,11              | 6,14 |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
|        | 1          | cx45    | cx46             | 55            | 69,00        | 68,00           | 1,82        | 6,82        | 15,00       | 1,38      | 1,38        | 6,82      | 4,13              | 0,00 |  |
|        | 2          | cx46    | cx47             | 30            | 68,00        | 67,70           | 1,01        | 0,74        | 15,00       | 1,38      | 4,13        | 0,74      | 4,05              | 0,00 |  |
|        | 3          | cx47    | cx48             | 18            | 67,70        | 67,30           | 2,26        | 0,63        | 15,00       | 1,38      | 4,05        | 0,63      | 3,76              | 0,00 |  |
| 4      | cx48       | cx51    | 30               | 67,30         | 61,20        | 20,51           | 0,79        | 15,00       | 1,38        | 3,76      | 12,52       | 1,38      | 0,00              |      |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
| 1      | cx49       | cx50    | 35               | 66,00         | 62,90        | 8,76            | 8,24        | 15,00       | 1,38        | 1,38      | 8,76        | 1,38      | 0,00              |      |  |
| 2      | cx50       | cx51    | 48               | 62,90         | 61,20        | 3,57            | 2,65        | 15,00       | 1,38        | 1,38      | 3,57        | 1,38      | 0,00              |      |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
| 1      | cx51       | cx52    | 44               | 61,20         | 59,40        | 4,12            | 1,60        | 15,00       | 1,38        | 1,38      | 4,12        | 1,38      | 6,87              |      |  |
|        |            |         |                  |               |              |                 |             |             |             |           |             |           |                   |      |  |
| 1      | cx52       | E3      | 27               | 59,40         | 50,40        | 33,61           | 3,21        | 8,35        | 1,49        | 8,25      | 8,35        | 1,49      |                   |      |  |