U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Atenuação de Águas Pluviais em Redes Prediais

Modelação BIM, Dimensionamento e Automação Dynamo

MARIANA DA SILVA MARTINS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Coorientador: Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente

JULHO DE 2021

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021*.

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

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

Aos meus pais

"Escolhe um trabalho de que gostes e não terás que trabalhar nem um dia na tua vida"

Confúcio

AGRADECIMENTOS

Não é fácil concluir a última etapa destes últimos 5 anos. É um processo desafiante, mas ao mesmo tempo confortante. Só posso agradecer a todas as pessoas que de alguma forma positiva contribuíram para todos os meus passos nesta caminhada.

Ao meu pai, só quero agradecer pelo exemplo e motivação que me deu para acreditar no curso. A minha paixão nasce pela dedicação que encontro nele diariamente no seu trabalho.

Á minha mãe e aos meus irmãos, que me apoiaram emocionalmente em todas as dificuldades ao longo destes anos.

Ao meu Namorado, que esteve de mão dada comigo em todas as dificuldades encontradas na vida e que nunca me deixou desistir, foi o meu pilar, e ao qual partilho esta conquista com ele.

À BIM SOURCE, LDA e a todos os profissionais da equipa que me ajudaram e, em especial, ao Eng. Manuel Rodrigues que tornou esta fase motivante. Espero que esta tese retribuía todo o apoio e tempo que me dedicaram.

Ao meu orientador, Prof. Doutor Nuno Ramos e, coorientador Prof. Doutor Tentúgal Valente, agradeço por todo o conteúdo que me transmitiram, não só na elaboração da tese, mas também ao longo do curso. Agradeço também o profissionalismo em todas as correções e esclarecimento de dúvidas que surgiram ao longo da elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos, agradeço por todo o amor e momentos que me proporcionaram.

Sou eternamente agradecida por todos os que me rodeiam.

RESUMO

Atualmente, e cada vez mais, as redes de drenagem de águas pluviais surgem como um problema no conforto da nossa sociedade. Em alturas de bastante precipitação estes problemas são notórios ao longo das infraestruturas rodoviárias sendo, um dos mais visíveis, o destacamento das tampas das caixas de visita ao longo da estrada. Ora, esta problemática surge como o ponto de partida para a elaboração desta tese tendo, como objetivo principal, o estudo das soluções possíveis para a resolução/redução deste tipo de problemas.

Os órgãos de atenuação procuram responder a esta problemática e, assim sendo, procurou-se estudar as soluções aplicáveis e as suas metodologias de cálculo, focando-se nas bacias de retenção que constituem, atualmente, o órgão de atenuação mais utilizado na sociedade. O estudo elaborado ao longo desta dissertação procura perceber a utilização deste órgão de atenuação em edifícios e o seu impacto ao longo da rede pública, para isto, utilizou-se um caso de estudo real da empresa BIM SOURCE, LDA. Inicialmente dimensionou-se a rede pública de águas pluviais utilizando duas ferramentas – o *Excel* e o *Revit*. Posto isto, passou-se ao estudo do dimensionamento das bacias de retenção através de alguns dos métodos atualmente disponíveis – Método de Regressão de Pagan, Método Sequencial, Método Holandês e o Método do Hidrograma Triangular Simplificado. O processo de cálculo foi feito primeiramente, para todos os métodos, com recurso a folhas de calculo automático em *Excel* e de uma outra forma mais automática, apenas para o Método de Regressão de Pagan, através do processo de cálculo automático utilizando scripts em *Dynamo*.

O facto de se ter dimensionando a rede pública e a bacia de retenção em *Revit*, obteve-se um processo dinâmico em 3D que permite estudar as dimensões da bacia de forma automática e rápida. Chegou-se à conclusão que, a elaboração dos scripts em *Dynamo* e de todo o processo de dimensionamento e modelação em *Revit*, permite reduzir o tempo e os erros associados à elaboração do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, Revit, Dynamo, Órgãos de atenuação, Redes de Drenagem de águas pluviais

ABSTRACT

Nowadays, and increasing, rainwater drainage systems emerge as a comfort problem in our society. When high rainfall occurs, these problems are notorious throughout the road infrastructure and, as one of the most visible effects, the detachment of road pavement and manhole covers occurs. This problem is the starting point for this thesis, having as main objective the study of possible solutions for the resolution/reduction of these problems.

Attenuation elements try to respond to this problem and, therefore, were researched applicable solutions and their calculation methodologies, focusing on attenuation tanks, that are currently the most used rainwater attenuation system. The study elaborated throughout this thesis seeks to understand the use of these attenuation elements in buildings and its impact in the public drainage system. For that, a real case study from the company BIM SOURCE, LDA was used. As a starting point, the public rainwater drainage system was sized using Excel and Revit. That said, was studied the design of the attenuation tanks according to some of the methods currently available, as Pay Regression Method, Sequential Method, Dutch Method and Simplified Triangular Hydrogram Method. Initially the calculation process was done for all methods using automatic spreadsheets in Excel. As a second phase, only for the Pay Regression Method, was used a more automatic method using Dynamo scripts.

Having sized the public drainage system and the attenuation tank using Revit and Dynamo, a dynamic 3D process, allows to study the dimensions of the tanks automatically and quickly. It was concluded that the creation of the Dynamo scripts, and the entire sizing and modeling process using Revit allows to reduce the time and errors in the project design process.

KEY WORDS: BIM, Revit, Dynamo, Attenuation elements, Rainwater drainage systems

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i

RESUMO iii

ABSTRACT v

1 INTRODUÇÃO 1

1.1. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS 1

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 2

2 ESTADO DA ARTE 3

2.1 REDES DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS 3

2.1.1 ELEMENTOS DE BASE PARA O DIMENSIONAMENTO 4

2.1.2 FÓRMULA DE MANNING-STRICKLER 5

2.1.3 DIMENSIONAMENTO 6

2.2 BIM 11

2.3 SOFTWARE BIM PARA A ENGENHARIA HIDRÁULICA 14

2.3.1 AUTODESK REVIT 14

2.3.2 REVIT – FUNCIONALIDADES EM PROJETO DE HIDRÁULICA 15

3 ORGÃOS DE ATENUAÇÃO PARA A DRENAGEM PLUVIAL 18

3.1 TECNOLOGIAS 18

3.2 DIMENSIONAMENTO DE BACIAS DE RETENÇÃO EM EDIFÍCIOS 21

3.2.1 MÉTODO DO HIDROGRAMA TRIANGULAR SIMPLIFICADO 21

3.2.2 MÉTODO SEQUENCIAL 22

3.2.3 MÉTODO DE REGRESSÃO DE PAGAN 23

3.2.4 MÉTODO HOLANDÊS 23

4 CASO DE ESTUDO 25

4.1 APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO 25

4.2 DESCRIÇÃO GERAL DA REDE PROJETADA 26

4.3 PROCESSO DE MODELAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM ÁGUAS PLUVIAIS 28

4.4 PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS 30

4.5 METODOLOGIA UTILIZADA PARA O DIMENSIONAMENTO DOS ORGÃOS DE ATENUAÇÃO 36

4.5.1 DIMENSIONAMENTO DA BACIAS DE RETENÇÃO 36

4.5.2 CASO DE ESTUDO – APLICAÇÃO 43
4.5.3 RESULTADOS FINAIS – ANÁLISE 56
5 DYNAMO NO DIMENSIONAMENTO DOS ORGÃOS DE ATENUAÇÃO 58
5.1 DYNAMO 58
5.2 SCRIPT EM DYNAMO – APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO 59
5.2.1 DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE RETENÇÃO 60
6 CONCLUSÃO 66
6.1 CONCLUSÕES 66
6.2 CONSIDERAÇÕES FUTURAS 66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 69
ANEXOS 72
A. Passos para a elaboração do script em Dynamo (Correspondência da área de influência) .. 73
B. Folha de cálculo para o Método do Hidrograma Triangular Simplificado 76
C. Folha de cálculo para o Método Sequencial 77
D. Folha de cálculo para o Método de Regressão de Pagan 78
E. Folha de cálculo para o Método Holandês 79
F. Plantas do projeto de Drenagem de Águas Pluviais do caso de estudo 80
G. Determinação do número de escoamento, CN 82
H. Regiões pluviométricas 84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Regiões pluviométricas (DR 23/95, 1995) ----------6

Figura 2.2- Descarregador de superfície (Pedroso, 2006) ----------8

Figura 2.3- Exemplo dos níveis de detalhe de uma porta – LOD (EPE, 2021) ---------- 12

Figura 2.4 – Pormenor de um WC em BIM (BIM SOURCE, 2021) ---------- 13

Figura 2.5 – Visualização de um projeto de redes predias de um edifico multifamiliar em BIM (BIM SOURCE, 2021)---------- 14

Figura 2.6 – Elementos no *Revit*---------- 15

Figura 2.7 – Ferramentas *Plumbing & Piping* do Revit ---------- 16

Figura 2.8 – *Schedule* referente ao cálculo da tubagem da drenagem de águas pluviais (Revit) 16

Figura 3.1- Bacia de retenção de céu aberto (Guimarães, 2014) ---------- 18

Figura 3.2- Peças que constituem os tanques *Stormbrixx* (Jornal da Construção, 2020) --------- 20

Figura 3.3 – Sistema de tanques *Stormbrixx* (Sudamérica & Iberia)---------- 20

Figura 3.4- Tecnologia *Blue Roof* ((TRCA), 2018) ---------- 20

Figura 3.5– Exemplo de constituição de um *Blue Roof* do fabricante *Bauder* (Bauder, Blue Roofs, 2021)---------- 21

Figura 4.1 – Fotografia aérea da área de implantação do caso de estudo (BIM SOURCE, LDA) ---------- 25

Figura 4.2 – Representação da rede das águas pluviais do caso de estudo em Revit---------- 26

Figura 4.3 – Corte na cobertura em REVIT ---------- 26

Figura 4.4 – Condução da água da chuva proveniente da cobertura até à caixa de visita no exterior em Revit---------- 27

Figura 4.5 – Pormenor de ralo exterior a descarregar para a rede exterior em Revit---------- 27

Figura 4.6 – Pormenor correspondente à descarga da piscina em Revit ---------- 28

Figura 4.7 – Tanque para reaproveitamento das águas pluviais em Revit ---------- 28

Figura 4.8- Família dos ralos (REVIT)---------- 32

Figura 4.9- Área de influência de um ralo (*REVIT*) ---------- 32

Figura 4.10- Propriedades do ralo (REVIT) ---------- 33

Figura 4.11- Fluxograma utilizado na elaboração do *script* em *Dynamo* para a correspondência da área de influência---------- 34

Figura 4.12- Propriedades do tubo de queda (REVIT)---------- 35

Figura 4.13- Rede de drenagem de águas pluviais (REVIT) ---------- 35

Figura 4.14- Relação de dependência entre as variáveis do cálculo automático ---------- 38

Figura 4.15- Altura de água que influencia o caudal de saída, H`w [m] ---------- 41

Figura 4.16- Área de influência da bacia de retenção ---------- 46

Figura 4.17- Área de influência da urbanização em estudo ---------- 46

Figura 5.1- Características do Dynamo que contribuem para a interoperabilidade com o Revit 58

Figura 5.2- Página principal do Dynamo---------- 59

Figura 5.3- Caso de estudo em Revit ---------- 60

Figura 5.4- Área permeável e impermeável do caso de estudo em Revit ---------- 60

Figura 5.5- Script em Dynamo do caudal correspondente à zona permeável [m³] ---------- 61

Figura 5.6- Script em Dynamo do caudal correspondente à zona impermeável [m³] ---------- 61

Figura 5.7- Script em Dynamo do cálculo do volume máximo da bacia sem considerar as condições de descarga [m³]---------- 61

Figura 5.8- Script do cálculo das simensões da bacia ---------- 62

Figura 5.9- Script em Dynamo do cálculo do volume descarregado [m³] ---------- 62

Figura 5.10- Script em Dynamo do volume final da bacia [m³] ---------- 63

Figura 5.11- Processo de seleção das áreas em Dynamo ---------- 63

Figura 5.12- Definição dos coeficientes de escoamento e intensidade de precipitação em Dynamo ---------- 64

Figura 5.13 – Representação da dinâmica de estudo em Dynamo ---------- 64

Figura 5.14- Altura final da bacia em Dynamo ---------- 64

Figura 5.15- Representação das dimensões da bacia em Revit [10x5m]---------- 65

Figura 5.16- Representação das dimensões da bacia em Revit [2x3m] ---------- 65

Figura A.1 – Família de ralos ---------- 73

Figura A.2 - Área de influência---------- 73

Figura A.3 - Categoria do elemento – lista de todos os "*Plumbing Fixtures*"---------- 73

Figura A.4 - Tipo de elemento – lista de todas as "*Filled region*" ---------- 73

Figura A.5 - Restringir os elementos para aqueles que correspondem aos ralos---------- 74

Figura A.6 - Representar uma lista com o conteúdo escrito nos comentários de cada "*Filled* -- 74

Figura A.7 - Cruzar as duas listas de forma a encontrar a correspondência entre os dois tipos de elementos---------- 74

Figura A.8 - Dispor os elementos pelo índice correspondente da lista ---------- 75

Figura A.9 - Definir a área de influência correspondente a esses índices---------- 75

Figura A.10 - Escrever o valor da área de influência nas propriedades do ralo---------- 75

Figura F.1 - Planta da cobertura (*Revit)* ---------- 80

Figura F.2 – Planta piso 0 (*Revit*) ---------- 80

Figura F.3 – Planta piso 1 (*Revit*) ---------- 81

Figura F.4- Planta de implantação (*Revit*) ---------- 81

ÍNDICE DE GÁFICOS

Gráfico 2.1 - Coeficiente de escoamento, Anexo X do (DR 23/95, 1995)----------4

Gráfico 2.2 - Curvas de intensidade de precipitação para um período de retorno de 5 anos (DR 23/95, 1995) ----------7

Gráfico 3.1 - Representação do hidrograma triangular simplificado ---------- 22

Gráfico 4.1- Variação do volume [m³] ---------- 49

Gráfico 4.2 - Altura de água na bacia [m] ---------- 50

Gráfico 4.3– Relação do caudal de pós e pré-urbanização [l/s] com o tempo [h] ---------- 51

Gráfico 4.4 - Relação do caudal [m³/s] vs tempo [min]---------- 54

Gráfico 4.5 - Relação do Volume acumulado [m³] vs tempo [min]---------- 54

Gráfico 4.6 - Relação do Hw [m] vs tempo [h] ---------- 55

Gráfico 4.7 - Relação do volume [m³] nos diferentes métodos ---------- 57

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Coeficientes da fórmula de Manning-Strickler (Martins F. J., 2000).....6

Quadro 2.2 - Dimensionamento de caleiras e algerozes de secção semicircular (Pedroso, 2006).8

Quadro 2.3 - Dimensionamento dos tubos de queda em entrada com aresta viva (Pedroso, 2006) 9

Quadro 2.4 - Dimensionamento dos tubos de queda de entrada cónica (Pedroso, 2006).....10

Quadro 2.5 - Dimensionamento de coletores prediais (Pedroso, 2006).....10

Quadro 3.1 – Classificação das bacias de retenção quanto à implementação e localização.....19

Quadro 4.1 - Cálculo dos tubos de queda de águas pluviais em Excel 31

Quadro 4.2 - Cálculo dos coletores de águas pluviais em Excel 31

Quadro 4.3 – Cálculo dos tubos de queda, *schedule* em Revit.....35

Quadro 4.4 - Dados iniciais do projeto em estudo.....44

Quadro 4.5 - Parâmetros da curva de intensidade, a e b 45

Quadro 4.6 - Valores obtidos para o tc [h] pelo Método de Soil Conservation Service 46

Quadro 4.7 - Coeficiente de escoamento da área urbanizada.....47

Quadro 4.8 - Coeficiente de escoamento global da bacia de retenção.....47

Quadro 4.9 – Valores do coeficiente de vazão, C.....48

Quadro 4.10 - Aplicação prática do Método Holandês em Excel.....49

Quadro 4.11 – Aplicação do Método do hidrograma triangular simplificado em Excel.....50

Quadro 4.12 – Cálculo auxiliar.....51

Quadro 4.13 - Dados inicias do Método Sequencial.....52

Quadro 4.14 – Tabela de cálculo automático do Método Sequencial, em Excel.....53

Quadro 4.15 – Resultados obtidos para o Método Sequencial 53

Quadro 4.16 - Método de Regressão de Pagan utilizando uma folha de cálculo Em Excel.....55

Quadro 4.17 - Cálculo auxiliar de forma a determinar o volume de descarga 56

Quadro 4.18- Resultados finais nos diferentes métodos 56

Quadro B.1. - Cálculo do tempo de concentração, tc [min] 76

Quadro B.2 – Cálculo do volume de armazenamento da bacia [m³].....76

Quadro B.3- Cálculo auxiliar tendo em conta o volume descarregado.....76

Quadro C.1 - Dados iniciais correspondente as características físicas e hidrológicas da área de influência da bacia 77

Quadro C.2 – Tabela de cálculo automático.....77

Quadro D.1 - Cálculo do volume máximo segundo o Método de Regressão de Pagan [m³] 78

Quadro D.2 – Cálculo auxiliar tendo em conta o volume descarregado 78

Quadro E.1 - Cálculo do Volume útil em [m³] segundo o Método Holandês 79

Quadro E.2 - Cálculo do volume final da bacia segundo o Método Holandês [m³] 79

Quadro G.1 - Valor do número de escoamento, CN, em bacias urbanas e suburbanas para as condições de humidade AMC-II e diferentes utilizações do sol. (Lencastre & Franco, 1992) ...83

SÍMBOLOGIA

I – Intensidade de precipitação
t – Duração da chuvada
U – Velocidade de escoamento
K – Coeficiente da fórmula de Manning-Strickler
J - Perda de carga unitária
R – Raio hidráulico
Q - Caudal
C - Coeficiente de escoamento;
H – Altura da lâmina líquida
T- Período de retorno
A - área da bacia
CN - número do escoamento
SP - parâmetro de armazenamento
D ou Ø – Diâmetro da secção
T_b - tempo base do hidrograma triangular simplificado
Q_0- caudal de ponta para a situação de pré-urbanização
Q_i - caudal de ponta para a situação de pós-urbanização
Va - volume mínimo da bacia de retenção
a e b - parâmetros das curvas I-D-F
q_s - Caudal específico efluente
q - Caudal efluente correspondente à situação antes da urbanização
tc - tempo de concentração da bacia
tr - tempo de resposta da bacia
L - Comprimento da bacia hidrográfica
i - Declive médio da bacia
tc - tempo crítico
td - tempo de duração da chuvada
A1 - área de influência da bacia de retenção
A2 - área da urbanização em estudo
C1 - coeficiente de escoamento da área urbanizada
Cm, coeficiente de escoamento global da bacia
C_D - Coeficiente de vazão
As - área da secção transversal da conduta
g - Força gravítica
Hw - altura de água a montante
H`w - altura de água que influencia o caudal de saída quando o descarregador é um orifício h1 - altura da conduta [m];
h2 - altura de água que a bacia contém permanentemente
Ld - largura da crista do descarregador

SIGLAS USADAS

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
CAD- Computer Aided Design
BIM – Building Information Modeling
2D – Duas Dimensões
3D – Três Dimensões
DR – Decreto Regulamentar
IDF – Intensidade-Duração-Frequência
LOD- Level od development
MEP – Mechanical, Electrical and Plumbing
AIA – Instituto Americano de Arquitetura
SCS – Soil Conservation Service
EUA – Estados Unidos da América

1
INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

O setor da construção tem vindo a aumentar nos últimos anos e prevê-se que, à semelhança do observado em 2020, a sua atividade mantenha uma evolução globalmente positiva. (AICCOPN, 2021).

Normalmente, a drenagem de águas pluviais na rede pública é dimensionada tendo em conta um dado caudal de ponta. Por mais que a engenharia tenha um papel no estudo na previsão desse caudal máximo é difícil de prever as suas alterações ao longo do tempo. Esse caudal pode modificar por duas grandes razões: o aumento da precipitação ou alterações na área de construção.

A construção nova implica quase sempre uma maior área de impermeabilização, ou seja, uma das condições prévias é o facto de espaços anteriormente ocupados por solo/espaços verdes permitirem uma maior infiltração da água da chuva. Com a construção, estas áreas passam a ser ocupadas por zonas impermeáveis e, portanto, implicam um escoamento da água para a rede pública maior e mais concentrado no tempo. Sendo a rede pública dimensionada para um determinado caudal pode não prever estas construções. Isso pode levar ao surgimento de problemas na rede pública de drenagem de águas pluviais como por exemplo, o extravasamento das tampas. Esta problemática poderá ser resolvida com a implementação de órgãos de atenuação que permitam a chegada da água à rede pública de modo mais atenuada. (Allevant, 2020)

A presente dissertação foi realizada em ambiente empresarial na empresa BIM SOURCE, LDA, onde este tema é uma das preocupações na fase de elaboração do projeto. O estudo da aplicabilidade dos órgãos de atenuação surge como um complemento de estudo das soluções possíveis de um projeto.

Assim sendo, esta dissertação teve como objetivos principais:

- Sistematização do dimensionamento da rede de drenagem de águas pluviais em edifícios utilizando a ferramenta informática *Revit;*
- Estudo dos órgãos de atenuação existentes e da sua aplicabilidade aos edifícios;
- Aplicação de metodologias existentes para o dimensionamento dos órgãos de atenuação;
- Automação *Dynamo* de uma das metodologias de cálculo dos órgãos de atenuação.

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Neste subcapítulo são apresentadas a estrutura e os temas a abordar no presente documento.

- Capítulo 1 – introdução ao tema em análise e as motivações do autor e da empresa, sendo também feita uma breve apresentação da estrutura do presente trabalho.
- Capítulo 2 – contextualização dos assuntos abordados em relação às redes de drenagem de águas pluviais e ao *BIM*.
- Capítulo 3 – discussão das tecnologias atualmente existentes para os órgãos de atenuação e das metodologias de dimensionamento dos mesmos.
- Capítulo 4 – apresentação do caso de estudo e os resultados obtidos no que diz respeito ao dimensionamento da rede de drenagem de águas pluviais e da metodologia de cálculo proposta para o dimensionamento do órgão de atenuação.
- Capítulo 5 – apresentação prática da utilização do *Dynamo* para o dimensionamento do órgão de atenuação para o caso de estudo.
- Capítulo 6 – conclusões e considerações finais relativamente ao tema em questão.

2

ESTADO DA ARTE

2.1 REDES DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Dependendo do modo como é pretendido encaminhar a água até à rede pública é habitual considerar três tipos diferentes de drenagem de águas pluviais. Em todos estes tipos, a ligação à rede pública realiza-se através de um ramal de ligação com origem numa câmara de ligação localizada no interior do lote a drenar (DR 23/95, 1995).

Drenagem gravítica- A água é recolhida a um nível superior ao do coletor público e, portanto, a condução da água é realizada apenas pela ação da gravidade;

Drenagem com elevação- A água é recolhida a um nível inferior ao do coletor público, devendo ser elevada por meios mecânicos, até ao nível do coletor da rede pública, como acontece, por exemplo, nas caves;

Sistema misto- Sistema que utiliza os dois tipos de drenagem, gravítica e com elevação, consoante a cota do local de recolha.

Os sistemas prediais de drenagem de águas pluviais são constituídos por uma rede de coletores, acessórios e dispositivos de descarga final que encaminham as águas pluviais recolhidas para a rede pública.

As componentes principais são:

- Caleiras e Algerozes
- Ramais de descarga
- Tubos de queda
- Coletores prediais
- Acessórios
    - Ralos
    - Sifões
    - Câmaras de inspeção
    - Câmara de ramal de ligação

  - Descarregadores e orifícios
- Ramal de ligação
- Instalações complementares (estação elevatória, retenção de areias, etc.)

2.1.1 ELEMENTOS DE BASE PARA O DIMENSIONAMENTO

Segundo o (DR 23/95, 1995) para elaborar os estudos relativos às redes de drenagem predial de águas pluviais é necessário definir alguns elementos de base, nomeadamente:

- Coeficiente de escoamento;
- Intensidade de precipitação.

O coeficiente de escoamento é a razão entre a precipitação útil (a que dá origem a escoamento na rede) e a precipitação efetiva (a que ocorre dentro da bacia) e, na falta de elementos, pode ser estimada através do gráfico constante no anexo X do (DR 23/95, 1995) (Gráfico 2.1)

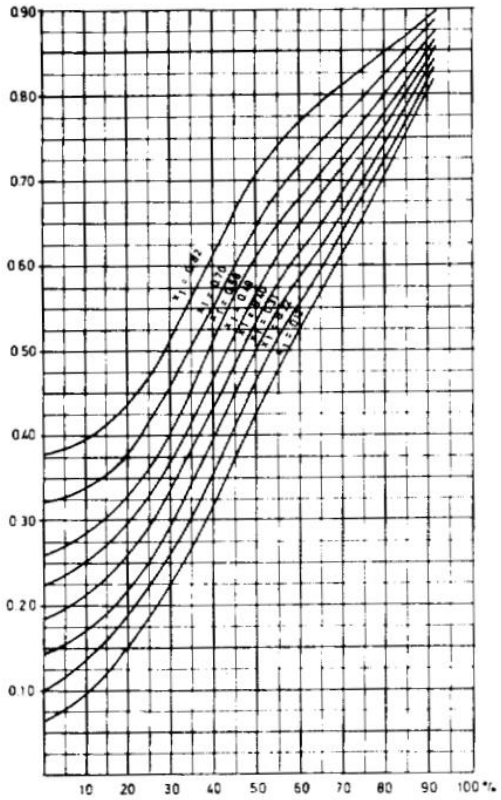


Gráfico 2.1 - Coeficiente de escoamento, Anexo X do (DR 23/95, 1995)

O tipo de solo e a respetiva inclinação da área a drenar, são os fatores que influenciam os valores do coeficiente de escoamento. Para as coberturas dos edifícios, a unidade é o valor adotado para o coeficiente de escoamento

A intensidade de precipitação corresponde à chuvada considerada máxima para um determinado período de retorno ou frequência durante um tempo igual ao tempo de concentração da bacia. É necessário ter em conta as características pluviométricas da zona em estudo de forma a determinar

a intensidade de precipitação. Dos métodos existentes, o mais utilizado é o que consiste na utilização das curvas I-D-F (curva de "Intensidade-duração-frequência").

O DR nº 23/95 propõe a adoção de uma curva de "Intensidade-duração-frequência", do tipo:

$$I = a \times t^{b} \tag{2.1}$$

em que:
I - Intensidade de precipitação (mm/h);
a, b - Parâmetros que dependem da região pluviométrica onde a zona de projeto se insere e do período de retorno considerado;
t - Tempo de concentração (minutos).

Segundo o DR 23/95, o período de retorno a considerar no dimensionamento das redes de drenagem de águas pluviais é, no mínimo, 5 anos, para uma chuvada com duração de 5 minutos. Para o presente estudo, considerou-se, também, um tempo de retenção mínimo de 5 minutos (situação mais desfavorável).

2.1.2 FÓRMULA DE MANNING-STRICKLER

A fórmula de Manning-Strickler faz parte de um grupo de várias fórmulas empíricas referentes ao dimensionamento de coletores e permite calcular a perda de carga unitária, quando o regime de escoamento é turbulento rugoso no interior de um tubo – como sucede na grande maioria dos escoamentos. A fórmula tem a seguinte expressão:

$$U = K \times R^{2/3} \times J^{1/2} \tag{2.2}$$

sendo:
U – Velocidade média (m/s);
K – Coeficiente da fórmula de Manning-Strickler (Quadro 2.1);
J - Perda de carga unitária (m/m);
R – Raio hidráulico (m).

No Quadro 2.1 indicam-se alguns valores de referência à constante K em função do tipo de parede do coletor.

Características	K ($m^{1/3}/s$)
Paredes muito lisas:	
- revestimento de argamassa de cimento e areia muito lisa; chapa metálica sem soldadura saliente	100 a 90
- argamassa alisada	85
Paredes lisas:	
- reboco ordinário; grés	80
- betão liso; superfície betuminosa lisa	75
- alvenaria ordinária	70
Paredes rugosas:	
- betão áspero ou velho; alvenaria velha ou mal acabada; superfície betuminosa rugosa; terra muito regular	60
Paredes muito rugosas:	
- terras muito irregulares com vegetação; cursos de água regulares em leitos rugosos	50
- terras em más condições, rios sobre calhaus	40
- terrenos completamente abandonados; rios com muito transporte sólido	20 a 15

Quadro 2.1 - Coeficientes da fórmula de Manning-Strickler (Martins F. J., 2000)

2.1.3 DIMENSIONAMENTO

2.1.3.1 CAUDAIS DE CÁLCULO

O dimensionamento da rede de drenagem predial de águas pluviais segue as orientações do Regulamento atrás referido (DR 23/95, 1995). Baseia-se nas áreas a drenar (em projeção horizontal), no coeficiente de escoamento e na intensidade de precipitação, para o projeto em estudo.

Os caudais de cálculo ou caudais de precipitação, podem ser obtidos aplicando o "Método Racional Simplificado". Este método consiste em determinar a intensidade de precipitação através das curvas I-D-F (Gráfico 2.2), estas curvas fornecem os valores das médias das intensidades máximas de precipitação, para as várias regiões pluviométricas representadas na Figura 2.1. Estes dados são referentes a um período de retorno mínimo de 5 anos e para uma precipitação de 5 minutos.

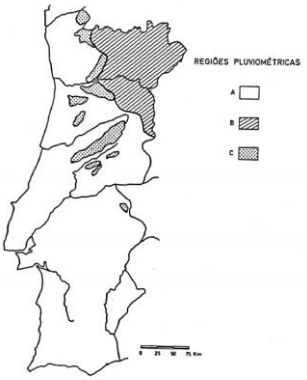


Figura 2.1- Regiões pluviométricas (DR 23/95, 1995)

Nota: As regiões autónomas dos Açores e da Madeira, consideram-se como pertencentes à região pluviométrica designada por C.

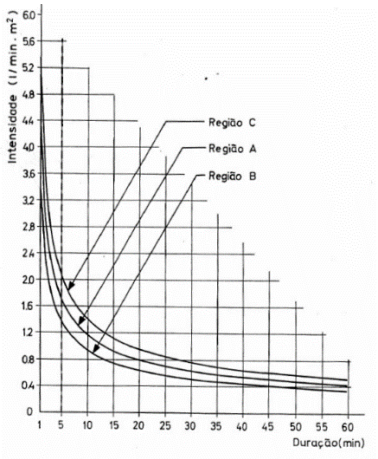


Gráfico 2.2 - Curvas de intensidade de precipitação para um período de retorno de 5 anos (DR 23/95, 1995)

O caudal de cálculo é determinado de acordo com a fórmula (Pedroso, 2006):

$$Q = C \times I \times A \tag{2.3}$$

sendo:

Q - Caudal de precipitação (l/min) ou (l/s);

C - Coeficiente de escoamento;

I - Intensidade de precipitação (l/min.m²) ou (l/s.ha);

A - Área a drenar (m²) ou (ha).

O coeficiente de escoamento a adotar no caso de áreas a drenar como coberturas e terraços, que podem ser tomados como impermeáveis, é considerado como unitário.

2.1.3.2 CALEIRAS

Segundo (Pedroso, 2006), nas caleiras, a altura da lâmina líquida no interior deve ser inferior a 7/10 da altura da secção transversal das mesmas. Excecionalmente, se for possível assegurar que o transbordo não ocorra para o interior do edifício, esta condição não é necessária ter em conta. A determinação da secção das caleiras (sistema tradicional) pode desenvolver-se do seguinte modo:

1) Determinação do caudal de cálculo de acordo com o referido no ponto 2.1.3.1.
2) Cálculo da secção das condutas:
    a. Ou com apoio da fórmula de Manning-Strickler (ponto 2.1.2).
    b. Ou através do Quadro 2.2 - Dimensionamento de caleiras e algerozes de secção semicircular, que apresenta resultados para diferentes áreas e inclinação com base nos cálculos efetuados com a fórmula de Manning-Strickler.

Área em planta (m²)	Secções (cm²)					
	Inclinação					
	0,1%	0,3%	0,5%	0,7%	1,0%	1,5%
20	49	32	27	23	20	18
30	66	44	36	32	28	24
40	82	54	45	39	34	30
50	97	64	53	47	41	35
60	111	73	61	53	47	40
70	124	82	68	60	52	45
80	137	91	75	66	58	50
90	150	99	82	72	63	54
100	162	108	89	78	68	59
110	174	116	95	84	74	63
120	186	123	102	90	78	67
130	198	131	108	95	83	72
140	209	138	114	101	88	76
150	220	146	120	106	93	80
160	231	153	126	111	97	84
170	242	160	132	116	102	88
180	252	167	138	122	106	91
190	263	174	148	127	111	95
200	273	181	149	132	115	99
250	323	214	177	156	136	117
300	370	245	202	178	156	134
350	416	275	227	200	175	150
400	459	304	251	221	194	166
450	502	332	274	242	212	182
500	543	360	270	262	229	197

Quadro 2.2 - Dimensionamento de caleiras e algerozes de secção semicircular (Pedroso, 2006)

2.1.3.3 DESCARREGADORES DE SUPERFÍCIE

É necessário que os descarregadores de superfície estejam presentes nas caleiras com pequena inclinação. Isto permite assegurar que, no caso de a precipitação ser superior à prevista, o transbordo se deia para o exterior do edifício. (Pedroso, 2006).

Os descarregadores de superfície devem satisfazer os requisitos da Figura 2.2- Descarregador de superfície.

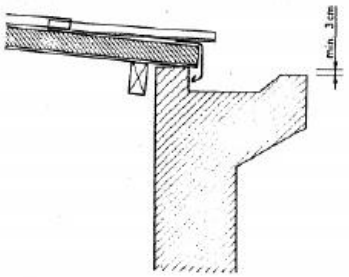


Figura 2.2- Descarregador de superfície (Pedroso, 2006)

2.1.3.4 TUBOS DE QUEDA

Os tubos de queda devem ser dimensionados tendo em conta a seguinte informação (Pedroso, 2006):

- Na determinação dos caudais de cálculo, deve-se ter em conta o somatório dos caudais de cálculo das caleiras e dos ramais de descarga que descarregam para os tubos de queda;
- O diâmetro dos tubos de queda deve ser superior ao maior dos diâmetros dos ramais de descarga que para ele afluem, no mínimo deve assumir o valor de 50 mm.

O diâmetro dos tubos de queda é calculado da seguinte forma:

1) Determina-se o caudal de cálculo de acordo com o referido no ponto 2.1.3.1
2) Calcula-se o diâmetro do tubo através:
   a. Da seguinte fórmula empírica (Pedroso, 2006):

$$D = \frac{Q - 0{,}026388 \times H^{5/2}}{0{,}02638 \propto \times H^{3/2}} \tag{2.4}$$

em que:

$$\propto \begin{cases} 0{,}453 - \text{entrada com aresta viva no tubo de queda} \\ 0{,}578 - \text{entrada cónica no tubo de queda} \end{cases}$$

$\beta = 0{,}350$

Q – Caudal de cálculo (l/min)

H – Altura da lâmina líquida (mm)

D – Diâmetro do tubo de queda (mm)

   b. Ou do Quadro 2.3 e Quadro 2.4:

Diâmetro (mm)	Caudais (l/min)									
	Altura da lâmina líquida H (mm)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	20	65	135	231	356					
75	30	92	184	307	462	650	873			
90	35	108	214	352	525	733	978	1260	1583	
110	43	129	252	411	607	841	1114	1427	1782	2179
125	48	144	280	455	668	921	1215	1550	1929	2351

Quadro 2.3 - Dimensionamento dos tubos de queda em entrada com aresta viva (Pedroso, 2006)

Diâmetro (mm)	Caudais (l/min)									
	Altura da lâmina líquida H (mm)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
50	25	79	160	269	409					
75	37	113	222	366	544	758	1009			
90	44	133	260	424	625	864	1143	1462	1824	
110	54	160	309	499	730	1002	1317	1675	2078	2526
125	61	179	345	554	807	1104	1446	1832	2265	2745

Quadro 2.4 - Dimensionamento dos tubos de queda de entrada cónica (Pedroso, 2006)

2.1.3.5 COLETORES PREDIAS

Para o cálculo dos caudais de cálculo dos coletores prediais é necessário ter em conta o somatório dos caudais de cálculo dos tubos de queda e dos ramais de descarga que para eles afluem e, na eventualidade, das águas freáticas. (Pedroso, 2006).

O diâmetro mínimo dos coletores prediais deve ser superior ao maior dos diâmetros das canalizações ligadas, no mínimo deve-se adotar um valor de 10mm. (Pedroso, 2006).

O diâmetro interior dos coletores prediais é calculado como se indica:

1) Determina-se o caudal de cálculo de acordo com o referido no 2.1.3.1
2) Determina-se o diâmetro do coletor através:
    a. Da fórmula de Manning-Strickler (ponto 2.1.2).
    b. Ou do Quadro 2.5.

Diâmetro (mm)	Caudais (l/min)			
	Inclinação			
	1%	2%	3%	4%
110	552	781	956	1104
125	777	1100	1347	1555
140	1053	1489	1824	2106
160	1503	2125	2603	3006
200	2730	3861	4729	5461
250	4959	7013	8589	9918
315	9197	13006	15929	18394

Quadro 2.5 - Dimensionamento de coletores prediais (Pedroso, 2006)

No dimensionamento da rede horizontal a partir da expressão acima referida existem algumas limitações de valores de dimensionamento a cumprir, tais como (Pedroso, 2006):

- Inclinação entre 5mm/m (0,5%) e 40mm/m (4%);
- Percentagem de ocupação da secção correspondente a 82 % do diâmetro;

- Verificação de autolimpeza dos coletores com recurso ao critério da força trativa, considerando garantida a autolimpeza sempre que a força de tração (determinada para 1/3 do caudal de ponta) for igual ou superior a 4,0 Pa.

2.2 BIM

Building Information Modeling (BIM) representa uma plataforma informática capaz de acompanhar os processos de produção e de gestão ao longo de todo o ciclo de vida da construção. Atualmente, as empresas, já utilizam o modelo tridimensional em BIM de forma a integrar toda a informação da construção. (Martins & Monteiro, 2011).

Segundo (Eastman, Teichloz, Sacks, & Liston , 2011) a tecnologia BIM permite criar digitalmente um ou mais modelos virtuais precisos de uma construção. As potencialidades das ferramentas BIM vão além das capacidades digitais das ferramentas do CAD 3D, principalmente as de automação que regem os modelos BIM, permitindo oferecer uma melhor análise e controlo ao longo do projeto. (Martins & Monteiro, 2011).

Existe inúmeras vantagens associadas à adoção da tecnologia BIM. Das enumeradas por (Martins & Monteiro, 2011), pode-se concluir que o BIM permite:

- Pesquisar e obter de forma eficiente documentos específicos;
- Obter de forma rápida e direta alterações;
- Automatizar fluxos de trabalho, reduzindo o tempo;
- Reduzir a informação, compilando apenas a mais relevante;
- Integrar os processos de produção e gestão documental, o que diminui o esforço administrativo;
- Simplificar a recolha de informação produzida em projetos anteriores ou de fontes externas;
- Realizar simultaneamente trabalhos de vários projetistas, permitindo reduzir o tempo de desenvolvimento de projetos;
- Eliminar os erros associados à elaboração de projeto;

<u>Modelo Paramétrico</u>

Os objetos paramétricos são essências de forma a compreender a diferença entre os tradicionais objetos em 3D e os do BIM. Na metodologia BIM um objeto pode conter várias informações, tais como, características técnicas (propriedades mecânicas, massa, acústicas, etc.), informações sobre posicionamento e localização espacial, entre outros. Ou seja, ao contrário dos tradicionais objetos em 3D, os objetos em BIM contém muito mais, para além da informação geométrica.. (Geraldes, 2018)

Na modelação paramétrica os objetos têm regras e parâmetros que determinam a sua geometria, propriedades e características não geométricas, ou seja, os objetos não apresentam geometria e

propriedades fixas. A relação entre os objetos, denominada como comportamento, é conseguida por estes parâmetros e regras, atualizando-se automaticamente permitindo a modelação de formas mais complexas. (Eastman, Teichloz, Sacks, & Liston , 2011). É possível definir um objeto e os seus componentes associados uma vez que, os objetos são definidos em diferentes níveis de agregação. Assim sendo, se se proceder à alteração de um componente do objeto, as características globais desse objeto também se vão alterar. (Eastman, Teichloz, Sacks, & Liston , 2011).

Níveis de informação em modelos BIM

O modelo em BIM é preciso e claramente estruturado, é constituído por informação gráfica e não gráfica. Muitas vezes é solicitado que seja definido no nível de detalhe do modelo, contudo, verifica-se que não existe uma definição padronizada sobre estes níveis, podendo variar em bastantes países. Na indústria o acrónimo mais utilizado é o LOD (Level of Development). (Geraldes, 2018)

O LOD é uma classificação sugerida pelo AIA (Instituito Americano de Arquitetura) que permite organizar as fases de desenvolvimento de um modelo em BIM, situando que nível de informações é necessário ter em cada etapa e determinar um nível de confiabilidade para esses dados. (EPE, 2021) Quanto maior é o valor de LOD, maior é o nível de detalhe, tal como mostra a Figura 2.3.

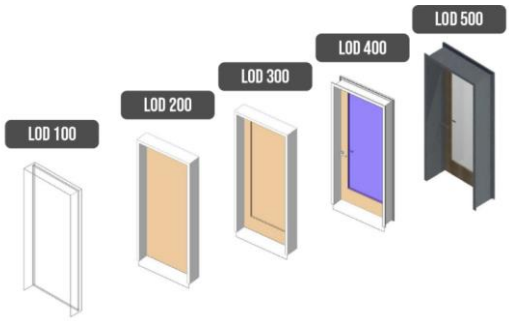


Figura 2.3- Exemplo dos níveis de detalhe de uma porta – LOD (EPE, 2021)

Desta forma, ao elaborar um modelo em BIM é necessário, primeiramente, identificar quais os usos do BIM que o projeto requer e qual o nível de detalhe necessário.

Interoperabilidade

A interoperabilidade é capacidade de dois ou mais sistemas serem capazes de trocar dados entre si e, desta forma, utilizar a informação recebida permitindo que o modelo BIM se mantenha atualizado. (Martins & Monteiro, 2011)

Conceção de sistemas em BIM

Umas das aplicações mais úteis do BIM *(Building Information Modeling)* são as ferramentas de conceção e dimensionamento de edifícios. O BIM ultrapassa a mera realização de esboços em

papel ou em CAD, para uma realidade tridimensional permitindo testar diferentes tipos de soluções. Na Figura 2.4 é possível perceber o detalhe da conceção de sistemas em BIM.

A modelação dos sistemas em BIM, desenvolve-se com recurso ás famílias de elementos que são editáveis por cada utilizador, permitindo que o mesmo adapte-as conforme as suas necessidades. O facto de existir uma biblioteca de famílias pré-definidas para cada projeto, assegura a compatibilidade do modelo com os processos e materiais de construção, evitando os erros entre o projeto e a execução. (Geraldes, 2018)

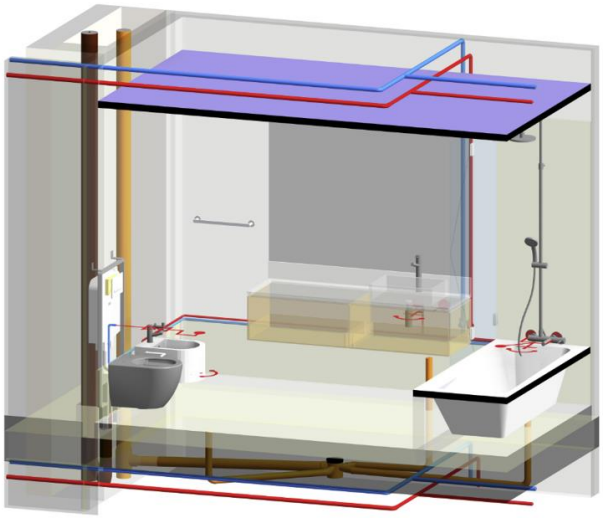


Figura 2.4 – Pormenor de um WC em BIM (BIM SOURCE, 2021)

Visualização de sistemas em BIM

A visualização tridimensional do BIM é essencial para a modelação. O utilizador necessita apenas de definir o tipo de vista que necessita, tratando-se de um processo bastante simples e automático. O facto da modelação em BIM cumprir as normas paramétricas, proporciona consistência ao modelo do início ao fim, uma vez que todas as vistas são atualizadas a tempo real. (Geraldes, 2018)

A visualização dos sistemas em BIM permite efetuar uma inspeção visual, ou seja, uma verificação manual de erros de altimetria, ligação entre elementos, sobreposições e omissões. (Geraldes, 2018)

Desta forma, é possível aproximar o modelo ao produto final em fases muito adiantadas do projeto, reduzindo os imprevistos associados a processos de construção. (Geraldes, 2018)

Figura 2.5 – Visualização de um projeto de redes predias de um edifico multifamiliar em BIM (BIM SOURCE, 2021)

2.3 SOFTWARE BIM PARA A ENGENHARIA HIDRÁULICA

A competitividade entre as empresas em conjunto com a necessidade de melhorar os processos de trabalho na indústria, impulsionou o desenvolvimento de várias plataformas BIM. De seguida, apresenta-se as funcionalidades e capacidades do *software Autodesk Revit*, que constitui umas das plataformas BIM, na modelação, análise e detalhe construtivo desenvolvidos no presente trabalho.

2.3.1 AUTODESK REVIT

O *Autodesk Revit* é um software especificamente construído para BIM e totalmente paramétrico. Usando o modelo virtual construindo em Revit e adicionando toda a informação pretendida, como por exemplo, análises energéticas, estruturais, estimativa de custos e muitos mais, o processo começa a parte BIM. O Revit permite também melhorar muitas tarefas repetitivas e morosas que aconteciam no CAD. (Stine, 2018)

A modelação em Revit é um processo relativamente simples, a maior dificuldade surge na compatibilização entre as especialidades. O projetista necessita, desde o início, de arranjar as melhores soluções de forma a poder compatibilizar com as outras especialidades e com a arquitetura, evitando colisões. (Geraldes, 2018)

No Revit, o modelo consiste num conjunto de dados únicos com informações acerca do projeto. Essas informações correspondem aos elementos usados, sendo que o Revit os classifica por categoriais, famílias e tipos, conforme representado na Figura 2.6. (Geraldes, 2018)

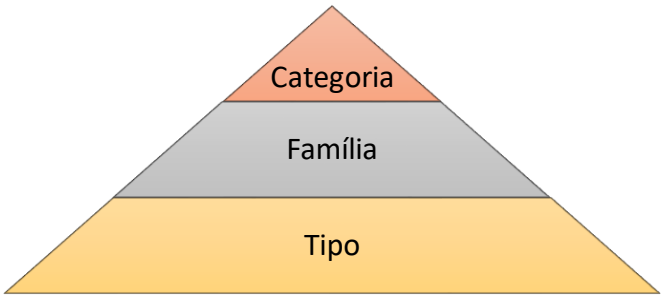


Figura 2.6 – Elementos no *Revit*

Uma categoria, que constitui um grupo do elemento, é usada para modelar ou documentar um projeto de construção. As famílias, são classes dos elementos, que contêm um conjunto de parâmetros com uso e representação gráfica idêntica. O tipo são elementos que contêm propriedades iguais dentro da mesma família. (Geraldes, 2018)

Existem duas propriedades que controlam a aparência e o comportamento dos elementos: as propriedades de tipo e as propriedades de instância. As propriedades de tipo são comuns a todos os elementos numa família, sendo que cada propriedade tem o mesmo valor para todas as instâncias de um tipo de família particular. Cada elemento inserido no Revit, corresponde a uma instância de um tipo onde o elemento possui propriedades únicas, designadas por parâmetros de instância. (Geraldes, 2018)

2.3.2 REVIT – FUNCIONALIDADES EM PROJETO DE HIDRÁULICA

O Revit constitui uma das plataformas do BIM que possui ferramentas direcionadas para a modelação e gestão das atividades da construção, arquitetura e engenharias. O modelo representa tridimensionalmente uma estrutura com um conjunto de informação integrada, a qual é necessária para a preparação e execução da obra. (Geraldes, 2018)

O Revit permite fazer a modelação e o dimensionamento das redes de drenagem pluviais, assim sendo, de seguida serão apresentados os principais conceitos inerentes à elaboração do projeto de redes de drenagem de águas pluviais em Revit.

<u>Família de Objetos</u>

A modelação da rede de drenagem de águas pluviais é realizada com recurso às ferramentas do *Revit MEP*. Para a realização da presente tese, foram utilizadas as ferramentas da secção de *Plumbing*, que podem ser agrupadas pelas 4 categorias seguintes (Lopes, 2020):

- *Pipe:* é a ferramenta que permite criar/desenhar as tubagens, podem ser personalizadas conforme o tipo de material e design que se pretenda;
- *Pipe Fittings*: são as ferramentas que permitem fazer a mudança de direção das tubagens, como por exemplo, os joelhos e as cruzetas;
- *Pipe Accessory*: são os acessórios que permitem o correto funcionamento da rede;

- *Plumbing Fixtures*: são os equipamentos colocados nos troços finais da rede.

Na aba *Systems* do Revit é possível visualizar a organização destas ferramentas conforme representa a Figura 2.7. Para todas as ferramentas referidas anteriormente, o software contém famílias pré-definidas, podendo serem editadas conforme as necessidades.

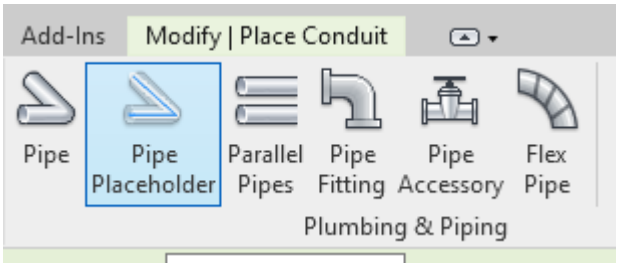
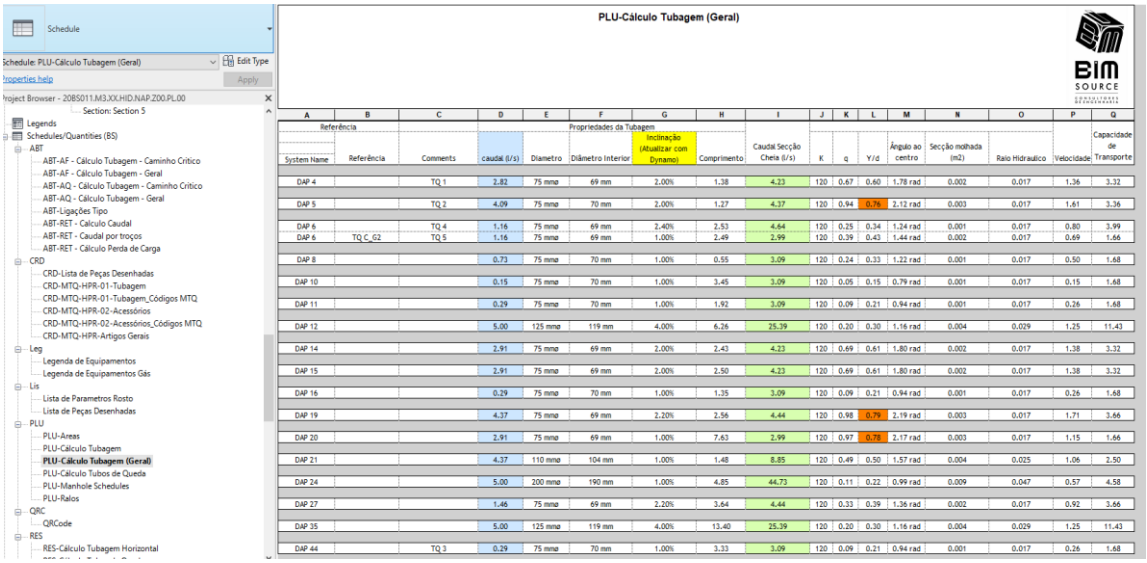


Figura 2.7 – Ferramentas *Plumbing & Piping* do Revit

<u>Schedules</u>

As *schedules* são folhas que fazem parte do Revit e que permitem fazer a contabilização de todos os elementos que fazem parte do projeto, permitem também auxiliar no dimensionamento das redes. (Lopes, 2020). Qualquer alteração que haja no modelo vai-se refletir nas *schedules* e vice-versa. Permitem interpolar os dados com o *Dynamo* e ser exportados para o *Excel*. Na Figura 2.8 é possível visualizar uma *Schedule* referente ao cálculo da tubagem de drenagem de águas pluviais, ou seja, o Revit, de forma automática, calcula o diâmetro de cada tubagem tendo em conta as imposições descritas no (DR 23/95, 1995).



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Referência			Propriedades da Tubagem													
System Name	Referência	Comments	caudal (l/s)	Diametro	Diâmetro Interior	Inclinação (Atualizar com Dynamo)	Comprimento	Caudal Secção Cheia (l/s)	K	q	Y/d	Ângulo ao centro	Secção molhada (m2)	Raio Hidraulico	Velocidade	Capacidade de Transporte
DAP 4		TQ 1	2.82	75 mma	69 mm	2.00%	1.38	4.23	120	0.67	0.60	1.78 rad	0.002	0.017	1.36	3.32
DAP 5		TQ 2	4.09	75 mma	70 mm	2.00%	1.27	4.37	120	0.94	0.76	2.12 rad	0.003	0.017	1.61	3.36
DAP 6		TQ 4	1.16	75 mma	69 mm	2.40%	2.53	4.64	120	0.25	0.34	1.24 rad	0.001	0.017	0.80	3.99
DAP 6	TQ C_62	TQ 5	1.16	75 mma	69 mm	1.00%	2.49	2.99	120	0.39	0.43	1.44 rad	0.002	0.017	0.69	1.66
DAP 8			0.73	75 mma	70 mm	1.00%	0.55	3.09	120	0.24	0.33	1.22 rad	0.001	0.017	0.50	1.68
DAP 10			0.15	75 mma	70 mm	1.00%	3.45	3.09	120	0.05	0.15	0.79 rad	0.001	0.017	0.15	1.68
DAP 11			0.29	75 mma	70 mm	1.00%	1.92	3.09	120	0.09	0.21	0.94 rad	0.001	0.017	0.26	1.68
DAP 12			5.00	125 mma	119 mm	4.00%	6.26	25.39	120	0.20	0.30	1.16 rad	0.004	0.029	1.25	11.43
DAP 14			2.91	75 mma	69 mm	2.00%	2.43	4.23	120	0.69	0.61	1.80 rad	0.002	0.017	1.38	3.32
DAP 15			2.91	75 mma	69 mm	2.00%	2.50	4.23	120	0.69	0.61	1.80 rad	0.002	0.017	1.38	3.32
DAP 16			0.29	75 mma	70 mm	1.00%	1.35	3.09	120	0.09	0.21	0.94 rad	0.001	0.017	0.26	1.68
DAP 19			4.37	75 mma	69 mm	2.20%	2.56	4.44	120	0.98	0.79	2.19 rad	0.003	0.017	1.71	3.66
DAP 20			2.91	75 mma	69 mm	1.00%	7.63	2.99	120	0.97	0.78	2.17 rad	0.003	0.017	1.15	1.66
DAP 21			4.37	110 mma	104 mm	1.00%	1.48	8.85	120	0.49	0.50	1.57 rad	0.004	0.025	1.06	2.50
DAP 24			5.00	200 mma	190 mm	1.00%	4.85	44.73	120	0.11	0.22	0.99 rad	0.009	0.047	0.57	4.58
DAP 27			1.46	75 mma	69 mm	2.20%	3.64	4.44	120	0.33	0.39	1.36 rad	0.002	0.017	0.92	3.66
DAP 35			5.00	125 mma	119 mm	4.00%	13.40	25.39	120	0.20	0.30	1.16 rad	0.004	0.029	1.25	11.43
DAP 44		TQ 3	0.29	75 mma	70 mm	1.00%	3.33	3.09	120	0.09	0.21	0.94 rad	0.001	0.017	0.26	1.68

Figura 2.8 – *Schedule* referente ao cálculo da tubagem da drenagem de águas pluviais (Revit)

Workflows

Os *workflows* são um conjunto de etapas ou processos que procuram clarificar todas os passos a seguir, assim sendo, ajudam o projetista a atingir os resultados pretendidos evitando que surja qualquer dúvida (Lopes, 2020). No âmbito deste trabalho, foi feito um *workflow* (ou fluxograma) que diz respeito à drenagem de águas pluviais (Capítulo 4.3), este serviu de base a todo o processo de modelação e dimensionamento da rede.

3

ORGÃOS DE ATENUAÇÃO PARA A DRENAGEM PLUVIAL

3.1 TECNOLOGIAS

Os órgãos de atenuação, tal como mencionado anteriormente, constituem elementos pertencentes aos sistemas de drenagem de águas pluviais capazes de atenuar a água da chuva durante um determinado período de tempo, permitindo que a mesma seja lançada de forma controlada para a rede pública. De seguida, são apresentadas algumas das tecnologias existentes mais correntes.

Bacia de retenção

A bacia de retenção, ou bacia de drenagem, tem como objetivo o amortecimento ou a redução do caudal de ponta a jusante. Acumula temporariamente um determinado caudal de modo a que este seja descarregado tendo em conta a capacidade limite do meio recetor. (Lourenço, 2014).

Figura 3.1- Bacia de retenção de céu aberto (Guimarães, 2014)

As bacias de retenção podem ser classificadas quanto à sua implantação e quanto a sua localização (Matias, 2006):

Classificação quanto à implementação:	Bacias de céu aberto – são construídas em terra, com taludes reforçados. São aplicadas numa bordagem de drenagem pluvial de infraestruturas rodoviárias, ferroviárias e aeroportuárias em zona rural. Podem ser do tipo "secas" ou "com nível de água permanente" dependendo das características de permeabilidade do solo.
	Bacias enterradas – estruturas situadas abaixo do nível do solo, construídas geralmente em betão armado. São aconselhadas para zonas urbanas densas onde não há disponibilidade de terreno ou onde o seu custo for elevado.
Classificação quanto à localização:	Bacias em paralelo – são colocadas, normalmente, lateralmente ao coletor ou canal afluente. A passagem entre o canal e a bacia de retenção é feita através de um descarregador lateral. Nem todo o escoamento de montante aflui à bacia de retenção.
	Bacias em série – são colocadas no alinhamento do coletor ou canal de drenagem afluente, intercetando-o. Todo o escoamento afluente passa pela bacia de retenção.

Quadro 3.1 – Classificação das bacias de retenção quanto à implementação e localização

Tanques *Stormbrixx*

Stormbrixx é um tanque constituído por peças de 1200x600x342 mm fabricadas em polipropileno e com outo meias-colunas conforme Figura 3.2 e Figura 3.3. É um sistema enterrado numa determinada área e que tem com principal função reter a água da chuva recolhida por diversos canais de drenagem. Posteriormente, distribui a água de forma controlada para a rede pública ou, armazena-la para depois a utilizar. No primeiro caso o sistema é considerado um elemento de infiltração, ou seja, a água da chuva é reintroduzida gradualmente no terreno, alimentando os aquíferos de forma natural, reduzindo a carga dos sistemas de drenagem. No segundo caso, o sistema é considerado um elemento de redução, ou seja, o sistema permite aproveitar espaços transitáveis para diminuir os picos de precipitação, evitando sobrecargas da rede de saneamento. (Jornal da Construção, 2020)

Figura 3.2- Peças que constituem os tanques *Stormbrixx* (Jornal da Construção, 2020)

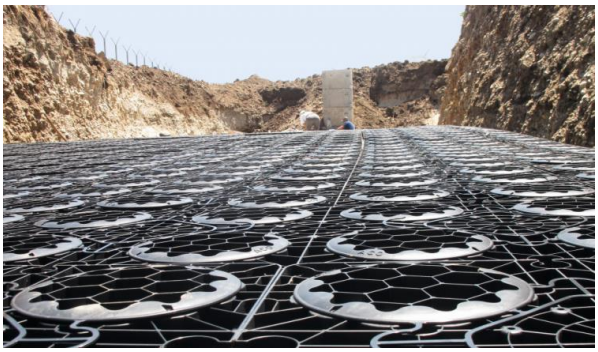


Figura 3.3 – Sistema de tanques *Stormbrixx* (Sudamérica & Iberia)

Blue Roof

O *Blue Roof* consiste numa alternativa viável e económica para a gestão de águas pluviais no telhado. As águas pluviais são retidas no telhado e lentamente libertadas através de dispositivos de controlo de caudal. Além de reduzir o caudal a jusante, pelo facto de reter a água durante um período de tempo, permite reduzir o volume total do escoamento do telhado através da evaporação. Esta tecnologia é aplicada em telhados planos de edifícios capazes de, estruturalmente, aguentar com a carga adicional dos componentes e da água pluvial retida. ((TRCA), 2018). Na Figura 3.4 está representado um exemplo ilustrativo da tecnologia, já na Figura 3.5 está representada a constituição mais detalhada de um sistema do tipo *Blue Roof* do fabricante *Baunder*.

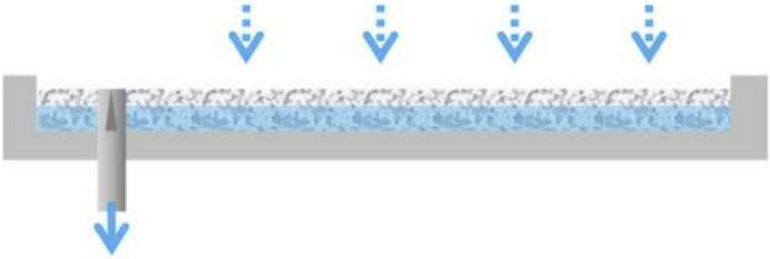


Figura 3.4- Tecnologia *Blue Roof* ((TRCA), 2018)

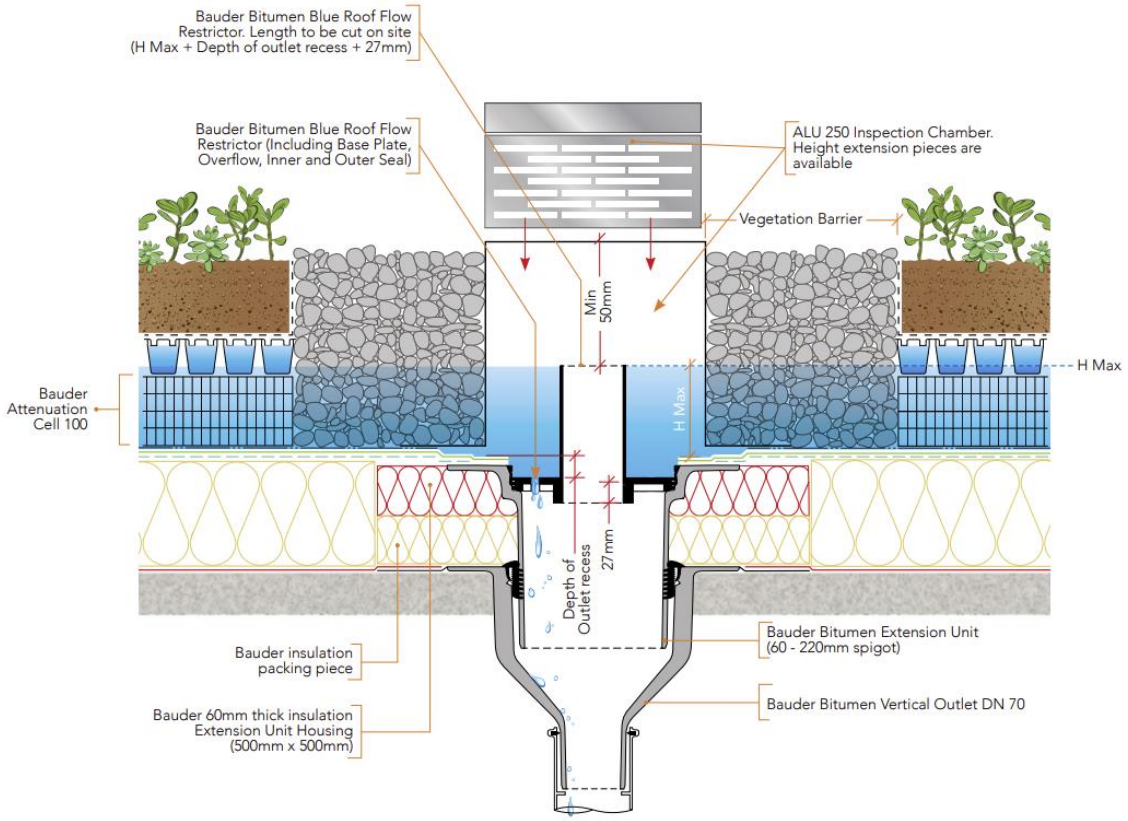


Figura 3.5– Exemplo de constituição de um *Blue Roof* do fabricante *Bauder* (Bauder, Blue Roofs, 2021)

3.2 DIMENSIONAMENTO DE BACIAS DE RETENÇÃO EM EDIFÍCIOS

O dimensionamento das bacias de retenção passa por uma primeira fase correspondente ao dimensionamento hidráulico. Nesta fase o objetivo é calcular o volume necessário ao armazenamento do caudal afluente, este caudal corresponde a uma determinada precipitação num determinado período de retorno. O caudal afluente não poderá ultrapassar o valor limite estabelecido.

Assim sendo, foram selecionados alguns dos métodos existentes para o dimensionamento hidráulico das bacias retenção.

3.2.1 MÉTODO DO HIDROGRAMA TRIANGULAR SIMPLIFICADO

O Método do Hidrograma Triangular Simplificado consiste em definir, primeiramente, os hidrogramas de entrada para os períodos de pré e pós urbanização com forma triangular. Este método admite que o pico do hidrograma corresponde ao caudal de ponta, Qp, e que este ocorre

ao fim de um determinado tempo de crescimento, tp. Por simplificação, (VDOT, 2002) considera que tp=tc, sendo tc o tempo de concentração da bacia (Gráfico 3.1).

O tempo de afluência do caudal à bacia corresponde ao Tempo de base do hidrograma, T_b, , (Akan & Houghtalen, 2003) recomenda a adoção de T_b= 2,67tc.

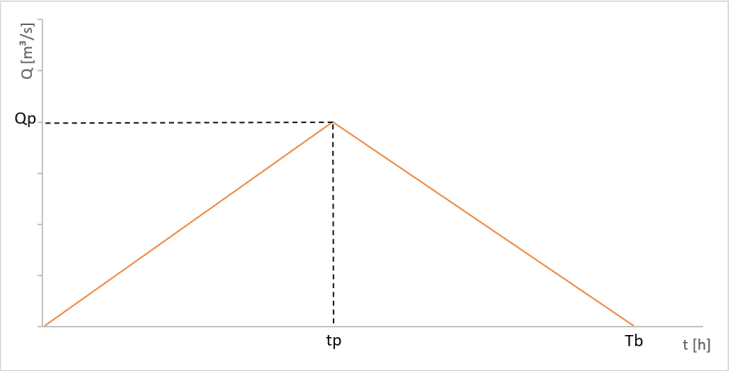


Gráfico 3.1 - Representação do hidrograma triangular simplificado

A estrutura de drenagem a jusante influencia o hidrograma de saída. É legítimo considerar que este corresponde ao hidrograma de entrada para o caudal de ponta de pré-urbanização. O objetivo é determinar o volume de armazenamento necessário de forma a que, o caudal descarregado após a construção, seja compatível com as estruturas de drenagem que garantiam os caudais de pré-urbanização.

Assim sendo, o volume armazenado necessário corresponde à diferença entre os hidrogramas de entrada dos períodos de pré e pós-urbanização, sendo dado pela expressão:

$$V = \frac{1}{2} \times T_b \times (Q_i - Q_0) \tag{3.1}$$

sendo:
- T_b é o tempo base do hidrograma [s];
- Q_i é o caudal de ponta para a situação de pós-urbanização [m³/s];
- Q_o é o máximo caudal efluente em função da capacidade das estruturas de drenagem a jusante, geralmente tomando como caudal de ponta de pré-urbanização [m³/s].

3.2.2 MÉTODO SEQUENCIAL

O método sequencial tem em conta uma análise pormenorizada da área de influência da bacia de retenção, nomeadamente o tempo de concentração (Mano, 2008).

O facto de este método ser bastante interativo e iterativo, na sua resolução aconselha-se à utilização de uma folha de cálculo que será apresentada no ponto 4.5.1.2.

3.2.3 MÉTODO DE REGRESSÃO DE PAGAN

Este método resulta, de experiências realizadas em inúmeras bacias hidrográficas dos Estados Unidos da América, tendo sido desenvolvido de forma a determinar o volume de armazenamento da bacia de retenção em função da relação entre os caudais de ponta dos períodos de pós e pré-urbanização. (VDOT, 2002)

Por análise dos dados obtidos, o autor (Lima, Raminhos, & Silva, 2008) determinou um parâmetro de armazenamento, SP, dado pela seguinte expressão:

$$\mathrm{SP} = -2883{,}1 \times \ln\left(\frac{Q_0}{Q_i}\right) + 13408 \tag{3.2}$$

sendo:
- SP é o parâmetro de armazenamento [s];
- Q_0 é o caudal de ponta para a situação de pré-urbanização [$m^3 \cdot s^{-1}$];
- Q_i é o caudal de ponta para a situação de pós-urbanização [$m^3 \cdot s^{-1}$].

O volume máximo de armazenamento necessário é dado por: (VDOT, 2002)

$$V_{máx} = \mathrm{SP} \times Q_i \tag{3.3}$$

Trata-se de um método de aplicabilidade bastante simples, apenas é necessário calcular o caudal de ponta para a situação de pré e pós-urbanização, estabelecer a relação entre eles através do cálculo do parâmetro de armazenamento (SP) e por fim calcular o volume de armazenamento conforme a equação (3.3).

No entanto, (Lima, Raminhos, & Silva, 2008) refere que este é um método apenas recomendado para períodos de retorno não superiores a 10 anos, e segundo (VDOT, 2002) indicado apenas para uma estimativa inicial do volume de armazenamento de uma bacia de retenção com áreas inferiores a 0,8 km².

3.2.4 MÉTODO HOLANDÊS

O Método Holandês constitui um dos métodos mais utilizados para o dimensionamento das bacias de retenção. É um método maioritariamente utilizado para bacias hidrográficas de grande dimensão (Matias, 2006). Segundo este método e tendo em conta o disposto no Artigo 179º do (DR 23/95, 1995), o volume armazenado é dado pela seguinte expressão:

$$V_a = 10 \times C \times A \times \left(\frac{-b \times q_s}{1+b}\right) \times \left(\frac{q_s \times 60}{a \times (1+b)}\right)^{1/b} \tag{3.4}$$

sendo:
- Va volume mínimo da bacia de retenção [m³];

- A área da bacia efluente [ha];
- C coeficiente de escoamento [];
- a e b parâmetros das curvas I-D-F [];
- q_s caudal específico efluente [mm/min].

O caudal específico efluente (qs), ou seja, o caudal por unidade de área ativa da bacia de drenagem, é considerado constante e é dado pela seguinte expressão:

$$q_s = \frac{q}{C \times A} \text{ [l/s/ha]} \tag{3.5}$$

sendo:
- q caudal efluente correspondente à situação antes da urbanização [l/s];
- C coeficiente de escoamento [];
- A área da bacia efluente [ha].

4

CASO DE ESTUDO

4.1 APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

No âmbito da atividade da empresa BIM SOURCE, LDA foi proposto o dimensionamento de uma bacia de retenção num projeto em desenvolvimento na empresa. Este projeto consiste na reconstrução e aumenta do prédio urbano.

Com o aumento da área do projeto e, consequentemente, o aumento da área de impermeabilização, o caudal de pós-urbanização será maior do que o caudal de pré-urbanização o que conduzirá a um maior caudal a chegar à rede pública. De forma e evitar possíveis problemas com a rede pública, o dimensionamento da bacia de retenção funcionará como um órgão de atenuação permitindo que o caudal descarregado para a rede pública seja menor ou pelo menos igual ao que anteriormente existia.

Figura 4.1 – Fotografia aérea da área de implantação do caso de estudo (BIM SOURCE, LDA)

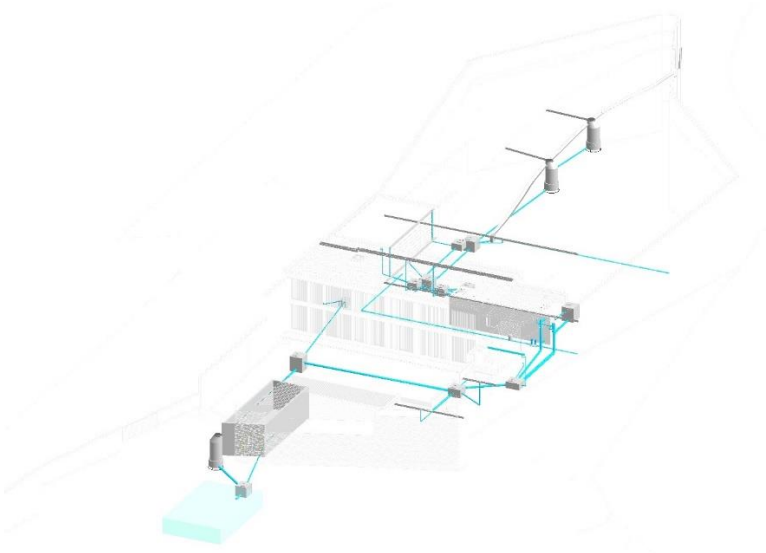


Figura 4.2 – Representação da rede das águas pluviais do caso de estudo em Revit

4.2 DESCRIÇÃO GERAL DA REDE PROJETADA

Na rede de águas pluviais conduz-se a água proveniente dos seguintes locais:

- Cobertura;

A drenagem das coberturas é feita através do sistema tradicional que prevê a recolha das águas por ralos de pinha e caleiras e o seu lançamento através de tubos de queda em coletores enterrados e/ou suspensos

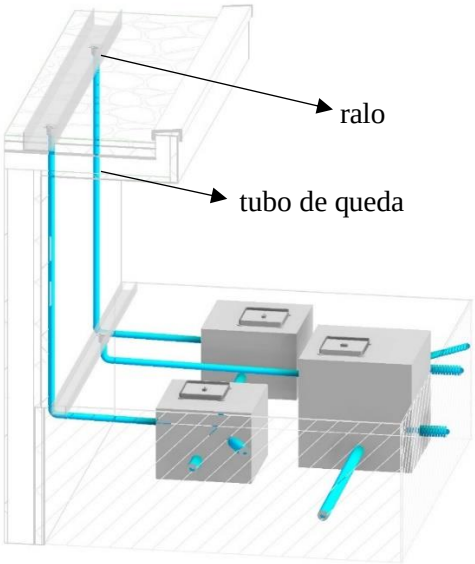


Figura 4.3 – Corte na cobertura em REVIT

No teto do piso da cobertura ou terraços, a água drenada é conduzida através de vários tubos de queda até à rede enterrada recolhida por caixas de visitas localizadas no exterior do edifício.

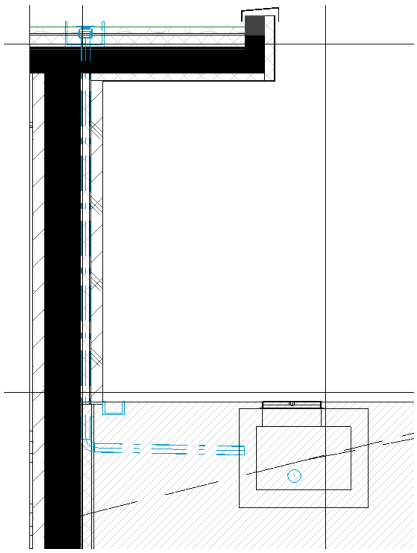


Figura 4.4 – Condução da água da chuva proveniente da cobertura até à caixa de visita no exterior em Revit

- Pavimentos exteriores;

A drenagem das águas de lavagem do pavimento é garantida através da existência de ralos de pavimento definidos em pontos específicos, sendo conduzida para uma rede enterrada.

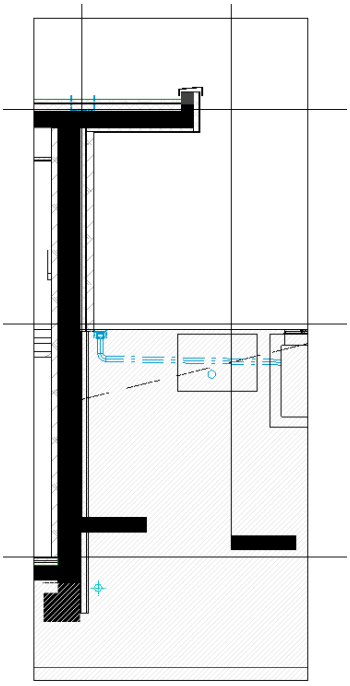


Figura 4.5 – Pormenor de ralo exterior a descarregar para a rede exterior em Revit

- Descarga da piscina;

Recolhem-se também as águas provenientes das descargas da piscina com ligação a caixa de visita.

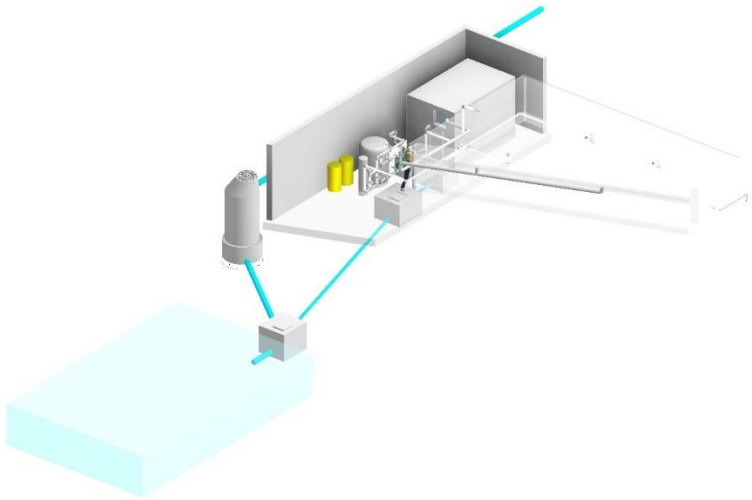


Figura 4.6 – Pormenor correspondente à descarga da piscina em Revit

Existe no local, junto ao edifício e de acordo com o levantamento efetuado e fornecido à empresa BIM SOURCE, LDA, um tanque para recolha de águas pluviais. É intenção que o mesmo seja usado para recolha das águas pluviais para reuso em fins não potáveis, prevendo-se um sistema de filtragem com *first-flush* à entrada do tanque.

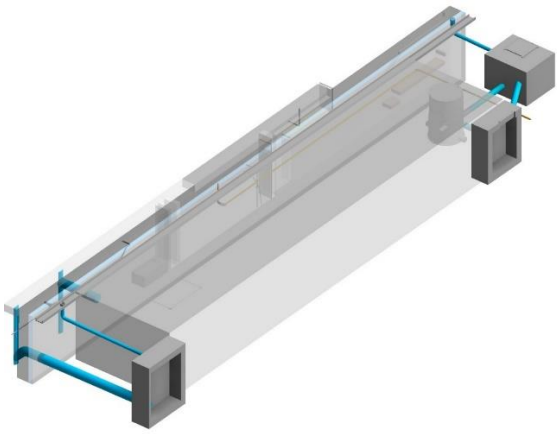


Figura 4.7 – Tanque para reaproveitamento das águas pluviais em Revit

4.3 PROCESSO DE MODELAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM ÁGUAS PLUVIAIS

A modelação da rede de drenagem de águas pluviais foi feita com recurso ao Revit. O processo de modelação da rede tem em conta várias etapas que englobam a modelação e ao mesmo tempo o dimensionamento em Revit. O facto de o software garantir de forma automática o

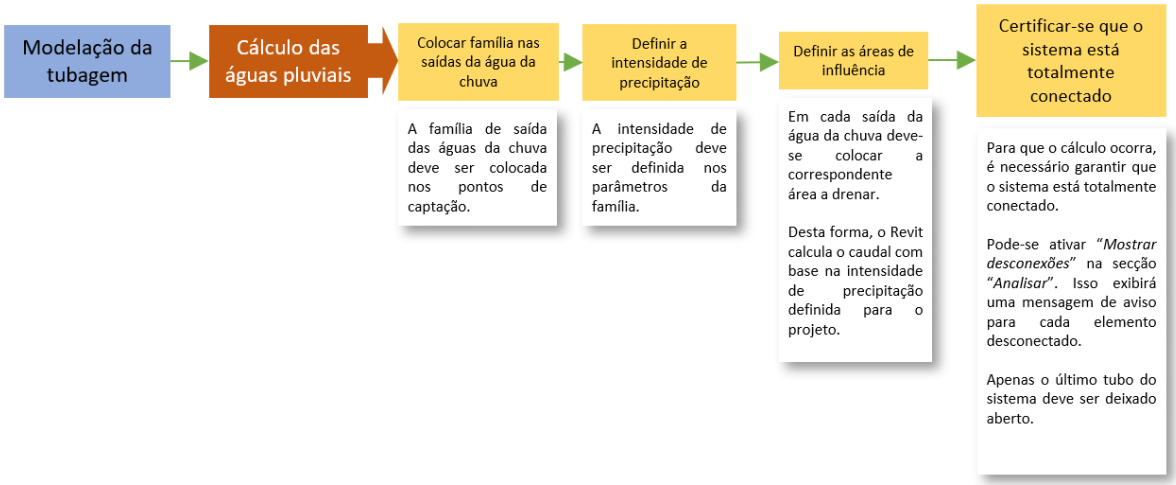
dimensionamento da rede, implica que a modelação siga um conjunto de etapas que garantem que o processo ocorra sem erros. No subcapítulo seguinte será exposto o método de dimensionamento utilizado para o caso em estudo.

De forma a tornar o processo mais simples foi desenvolvido um fluxograma que permite:

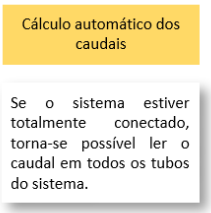
- Calcular os caudais para o sistema de águas pluviais;
- Obter relatórios de cálculos;

O fluxograma está dividido em três partes:

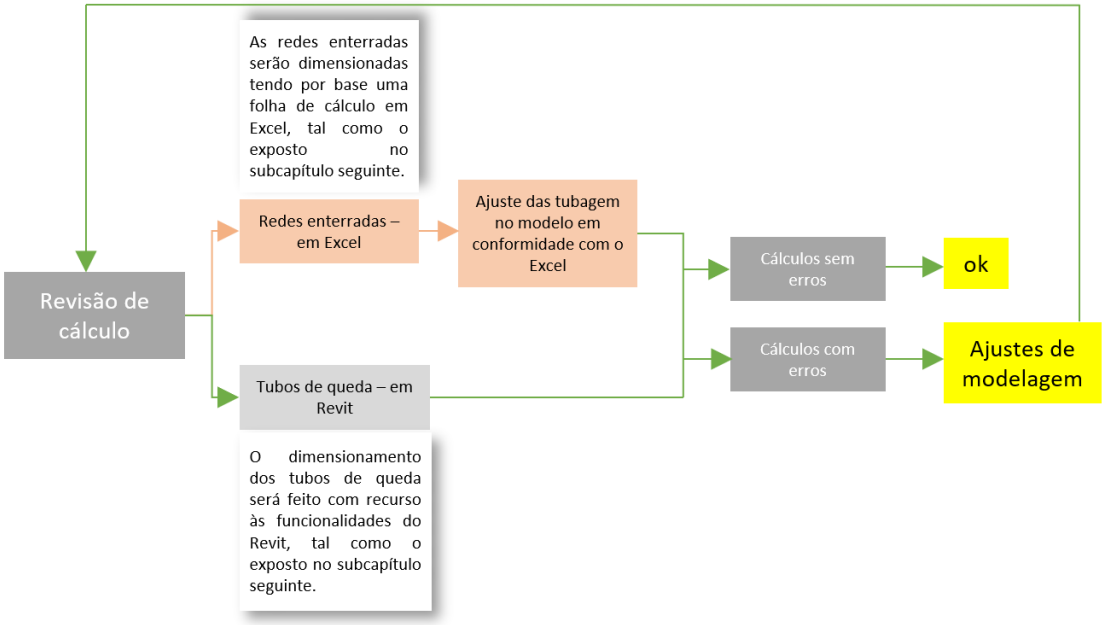
1- Inputs (Engenheiro/Técnico BIM)



2- Cálculo automático em Revit



3- Revisão de cálculo



4.4 PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

O dimensionamento da rede de drenagem pluvial foi realizado com recurso ao *Excel* e ao *Revit*. Este dimensionamento é realizado sempre de montante para jusante de forma a começar com o caudal mais pequeno que vai aumentando até obter o máximo caudal que é necessário drenar.

A empresa, BIM SOURCE, LDA, possui folhas de *Excel* preparadas com todas as fórmulas que o projetista necessita. Foram utilizadas duas folhas, para o dimensionamento dos tubos de queda e dos coletores, Quadro 4.1 e Quadro 4.2, respetivamente, e que correspondem aos resultados obtidos. Os tubos de queda foram também dimensionados em *Revit*, sendo as folhas de *Excel* utilizadas de forma a perceber as duas metodologias.

CÁLCULO DOS TUBOS DE QUEDA DE ÁGUAS PLUVIAIS

Região Pluviométrica	A	
Período de retorno	5	anos
Duração da chuvada	5	min
Intensidade de precipitação	1,75 l/min/m² = 291,48 l/s/ha = 104,93 mm/h	

				1	2	3	4	5
Tubo Queda	Numeração			1	2	3	4	5
	Designação			TQ1	TQ2	TQ3	TQ4	TQ5
	Material			PVC Série B	PVC Série B	PVC Série B	PVC Série B	PVC Série B
	Entrada em aresta viva/cónica?			aresta viva	aresta viva	aresta viva	aresta viva	aresta viva
			α	0,453	0,453	0,453	0,453	0,453
			β	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350
Caudal	Áreas a drenar	Cob.	1,00	95,16	95,26	10	29,96	30,28
		Pav.	0,90					
		Jard.	0,30					
		…	…					
	Área total	A	(m^2)	95,2	95,3	10,0	30,0	30,3
	Coeficiente ponderado	C		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Área reduzida	C·A	(m^2)	95,2	95,3	10,0	30,0	30,3
	Caudal	Q	(l/min)	166,4	166,6	17,5	52,4	53,0
			(l/s)	2,77	2,78	0,29	0,87	0,88
Tubo Queda	Altura da lâmina líquida	H	(mm)	40	40	40	40	40
	Diâm. interior de cálculo	DIC	(mm)	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
	Diâm. interior adoptado	DIA	(mm)	69,0	69,0	69,0	69,0	69,0
	Diâm. nominal adoptado	DNA	(mm)	75	75	75	75	75

Quadro 4.1 - Cálculo dos tubos de queda de águas pluviais em Excel

CÁLCULO DE COLECTORES CIRCULARES DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Região Pluviométrica	A	**Período de retorno**	5 anos
Intensidade de precipitação	0.02 l/min/m² = 291 l/s/ha = 105 mm/h	**Duração da chuvada**	5 min

Nó montante	Nó jusante	Inclinação	Precipitação – Área a drenar (m²)			Área	Coeficiente ponderado	Área reduzida	Águas freáticas – Área a drenar	Águas freáticas – Caudal freático	Outros – Caudal pontual	Caudal acumulado de troços a montante	Caudal total
m_i	j_i	i	Cobertura	Pavimento	Jardim	A	C	C·A	(m²)	(l/s)	Q_{pont}	Q'	Q
		(mm/m)	C = 1,00	C = 0,85	C = 0,30	(m²)		(m²)		l/s/1000m²	(l/s)	(l/s)	(l/s)
CVP-1	CVP-2	20		100,5		100	0,85	85		0,00		0,00	2,49
GEOD-1	CVP-2	25			209,8	210	0,30	63		0,00		0,00	1,83
GEOD-2	CVP-2	20			295,2	295	0,30	89		0,00		0,00	2,58
CVP-2	CVP-3	10		31,0		31	0,85	26		0,00		6,90	7,67
GEOD-3	CVP-3	25			234,6	235	0,30	70		0,00		0,00	2,05
CVP-3	CVP-4	10		10,6		11	0,85	9		0,00		9,73	9,99
1	CVP-4	40		13,4		13	0,85	11		0,00		0,00	0,33
TQ4	CVP-4	40	30,0			30	1,00	30		0,00		0,00	0,87
CVP-4	CVP-5	10				0		0		0,00		11,19	11,19
2	CVP-5	40		14,3		14	0,85	12		0,00		0,00	0,35
TQ3	CVP-5	40	30,3			30	1,00	30		0,00		0,00	0,88
CVP-5	CVP-6	10				0		0		0,00		12,43	12,43
3	CVP-6	40		13,6		14	0,85	12		0,00		0,00	0,34
4	CVP-6	25		75,4		75	0,85	64		0,00		0,00	1,87
TQ2	CVP-6	20	95,3			95	1,00	95		0,00		0,00	2,78
CVP-6	CVP-7	10				0		0		0,00		17,41	17,41
TQ1	CVP-7	20	95,2			95	1,00	95		0,00		0,00	2,77
CVP-7	CVP-8	10				0		0		0,00		20,19	20,19
5	CVP-8	20		114,5		114	0,85	97		0,00		0,00	2,84
CVP-8	CVP-9	10				0		0		0,00		23,02	23,02
6	CVP-9	40		21,0		21	0,85	18		0,00		0,00	0,52
CVP-9	CVP-10	10		12,3		12	0,85	10		0,00		23,54	23,85
7	CVP-10	40		19,8		20	0,85	17		0,00		0,00	0,49
CVP-10	CVP-11	10				0		0		0,00		24,34	24,34
8	CVP-11	40		30,4		30	0,85	26		0,00		0,00	0,75
GEOD-7	CVP-11	40			12,5	13	0,30	4		0,00		0,00	0,11
GEOD-4	CVP-11	40			6,8	7	0,30	2		0,00		0,00	0,06
CVP-11	CVP-12	10				0		0		0,00		25,26	25,26
GEOD-8	CVP-12	40			25,6	26	0,30	8		0,00		0,00	0,22
GEOD-5	CVP-12	40			13,2	13	0,30	4		0,00		0,00	0,12
CVP-12	CVP-13	10				0		0		0,00		25,60	25,60
GEOD-6	CVP-13	40			26,1	26	0,30	8		0,00		0,00	0,23
CVP-13	CVP-14	10				0		0		0,00		25,83	25,83
GEOD-9	CVP-14	40			62,7	63	0,30	19		0,00		0,00	0,55
GEO-10	CVP-14	40			16,4	16	0,30	5		0,00		0,00	0,14
GEOD-11	CVP-14	40			29,5	29	0,30	9		0,00		0,00	0,26
CVP-14	RP	10				0		0		0,00		26,78	26,78

Nó montante	Nó jusante	Material	Coeficiente de Manning-Strickler	Pré-dimensionamento – Diâmetro interior de cálculo (mm)	Pré-dimensionamento – Diâmetro interior comercial	Pré-dimensionamento – Diâmetro nominal	Diâmetro nominal	Diâmetro interior	Extensão	Preço	Caudal para secção cheia	q	Altura do escoamento	Ângulo ao centro	Secção molhada	Raio Hidráulico	Velocidade	Poder de Transporte	Cota de tampa caixa montante
m_i	j_i		K_S	1,00 m/s	Di	DN	DN	Di	L	P	Q_0	q	y/D	X	S	R_H	U	τ	
			($m^{1/3} \cdot s^{-1}$)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(€)	(l/s)	(-)	(%)	(rad)	(m²)	(m)	(m/s)	(N/m²)	
CVP-1	CVP-2	PVC Série B	90	63,0	69	75	110	104	17,60	17,60 €	9,39	0,27	35%	1,2661	0,003	0,02	0,95	3,93	
GEOD-1	CVP-2	PVC Série B	90	53,9	69	75	110	104	12,38	12,38 €	10,50	0,17	28%	1,1152	0,002	0,02	0,95	4,10	
GEOD-2	CVP-2	PVC Série B	90	63,8	69	75	110	104	3,31	3,31 €	9,39	0,27	36%	1,2870	0,003	0,02	0,94	4,02	
CVP-2	CVP-3	PVC Série B	90	109,4	118,6	125	125	119	4,31	4,31 €	9,52	0,81	68%	1,9391	0,008	0,03	0,96	3,41	
GEOD-3	CVP-3	PVC Série B	90	56,2	69	75	110	104	20,90	20,90 €	10,50	0,20	30%	1,1593	0,002	0,02	0,96	4,34	
CVP-3	CVP-4	PVC Série B	90	120,7	153,6	160	160	154	4,40	4,40 €	18,98	0,53	52%	1,6108	0,010	0,04	1,03	3,86	
1	CVP-4	PVC Série B	90	26,0	26	32	110	104	2,64	2,64 €	13,28	0,03	11%	0,6761	0,001	0,01	0,66	2,83	
TQ4	CVP-4	PVC Série B	90	37,3	44	50	110	104	2,53	2,53 €	13,28	0,07	17%	0,8500	0,001	0,01	0,92	4,23	
CVP-4	CVP-5	PVC Série B	90	126,0	153,6	160	160	154	2,36	2,36 €	18,98	0,59	56%	1,6911	0,011	0,04	1,05	4,03	
2	CVP-5	PVC Série B	90	26,6	34	40	125	119	2,15	2,15 €	19,05	0,02	9%	0,6094	0,000	0,01	0,72	2,67	
TQ3	CVP-5	PVC Série B	90	37,5	44	50	110	104	2,82	2,82 €	13,28	0,07	17%	0,8500	0,001	0,01	0,93	4,23	
CVP-5	CVP-6	PVC Série B	90	131,1	153,6	160	160	154	3,60	3,60 €	18,98	0,65	60%	1,7722	0,012	0,04	1,07	4,18	
3	CVP-6	PVC Série B	90	26,1	34	40	125	119	3,00	3,00 €	19,05	0,02	9%	0,6094	0,000	0,01	0,69	2,67	
4	CVP-6	PVC Série B	90	54,2	69	75	110	104	1,10	1,10 €	10,50	0,18	28%	1,1152	0,002	0,02	0,97	4,10	
TQ2	CVP-6	PVC Série B	90	65,6	69	75	110	104	3,23	3,23 €	9,39	0,30	37%	1,3078	0,003	0,02	0,98	4,10	
CVP-6	CVP-7	PVC Série B	90	148,7	153,6	160	160	154	6,25	6,25 €	18,98	0,92	75%	2,0944	0,015	0,05	1,17	4,54	
TQ1	CVP-7	PVC Série B	90	65,6	69	75	110	104	1,77	1,77 €	9,39	0,30	37%	1,3078	0,003	0,02	0,98	4,10	
CVP-7	CVP-8	PVC Série B	90	157,2	192,2	200	200	192	9,37	9,37 €	34,51	0,58	55%	1,6710	0,016	0,05	1,23	4,99	
5	CVP-8	PVC Série B	90	66,1	69	75	110	104	1,13	1,13 €	9,39	0,30	38%	1,3284	0,003	0,02	0,96	4,19	
CVP-8	CVP-9	PVC Série B	90	165,1	192,2	200	200	192	5,86	5,86 €	34,51	0,67	60%	1,7722	0,018	0,05	1,27	5,23	
6	CVP-9	PVC Série B	90	30,8	34	40	110	104	0,59	0,59 €	13,28	0,04	13%	0,7377	0,001	0,01	0,81	3,31	
CVP-9	CVP-10	PVC Série B	90	167,3	192,2	200	200	192	7,40	7,40 €	34,51	0,69	62%	1,8132	0,019	0,05	1,26	5,32	
7	CVP-10	PVC Série B	90	30,1	34	40	110	104	2,53	2,53 €	13,28	0,04	13%	0,7377	0,001	0,01	0,76	3,31	
CVP-10	CVP-11	PVC Série B	90	168,6	192,2	200	200	192	6,20	6,20 €	34,51	0,71	63%	1,8338	0,019	0,05	1,26	5,36	
8	CVP-11	PVC Série B	90	35,3	44	50	110	104	7,83	7,83 €	13,28	0,06	16%	0,8230	0,001	0,01	0,87	4,01	
GEOD-7	CVP-11	PVC Série B	90	17,1	26	32	110	104	4,30	4,30 €	13,28	0,01	6%	0,4949	0,000	0,00	0,53	1,58	
GEOD-4	CVP-11	PVC Série B	90	13,6	26	32	110	104	2,30	2,30 €	13,28	0,00	5%	0,4510	0,000	0,00	0,38	1,32	
CVP-11	CVP-12	PVC Série B	90	171,0	192,2	200	200	192	5,10	5,10 €	34,51	0,73	64%	1,8546	0,020	0,06	1,29	5,40	
GEOD-8	CVP-12	PVC Série B	90	22,4	26	32	110	104	4,30	4,30 €	13,28	0,02	9%	0,6094	0,000	0,01	0,59	2,33	
GEOD-5	CVP-12	PVC Série B	90	17,5	26	32	125	119	2,30	2,30 €	19,05	0,01	6%	0,4949	0,000	0,00	0,43	1,81	
CVP-12	CVP-13	PVC Série B	90	171,8	192,2	200	200	192	9,00	9,00 €	34,51	0,74	65%	1,8755	0,020	0,06	1,28	5,43	
GEOD-6	CVP-13	PVC Série B	90	22,6	26	32	110	104	2,30	2,30 €	13,28	0,02	9%	0,6094	0,000	0,01	0,61	2,33	
CVP-13	CVP-14	PVC Série B	90	172,4	192,2	200	200	192	8,70	8,70 €	34,51	0,75	65%	1,8755	0,020	0,06	1,29	5,43	
GEOD-9	CVP-14	PVC Série B	90	31,4	34	40	110	104	6,93	6,93 €	13,28	0,04	14%	0,7670	0,001	0,01	0,76	3,54	
GEO-10	CVP-14	PVC Série B	90	19,0	26	32	110	104	3,10	3,10 €	13,28	0,01	7%	0,5355	0,000	0,00	0,55	1,83	
GEOD-11	CVP-14	PVC Série B	90	23,6	26	32	110	104	6,00	6,00 €	13,28	0,02	10%	0,6435	0,000	0,01	0,59	2,58	
CVP-14	RP	PVC Série B	90	174,8	192,2	200	200	192	7,90	7,90 €	34,51	0,78	67%	1,9177	0,021	0,06	1,30	5,50	

Quadro 4.2 - Cálculo dos coletores de águas pluviais em Excel

Como referido anteriormente, para além disto, foi utilizada uma outra forma de dimensionar os tubos de queda. Através das potencialidades do Revit foi possível, de forma simples e intuitiva, determinar o caudal em cada tubo de queda, e desta forma proceder ao dimensionamento hidráulico.

De seguida, apresenta-se os passos utilizados no dimensionamento dos tubos de queda em Revit:

1- Já existe uma família definida correspondente aos ralos.

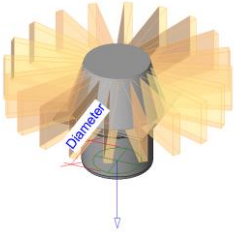


Figura 4.8- Família dos ralos (REVIT)

2- É necessário ter definido a área de influência de cada um dos ralos. De forma a obter a região de influência (Figura 4.9) utilizam-se os comandos *annotate* > *filled region*, define-se a área correspondente a o seu valor aparece nas propriedades da mesma (Figura 4.9).

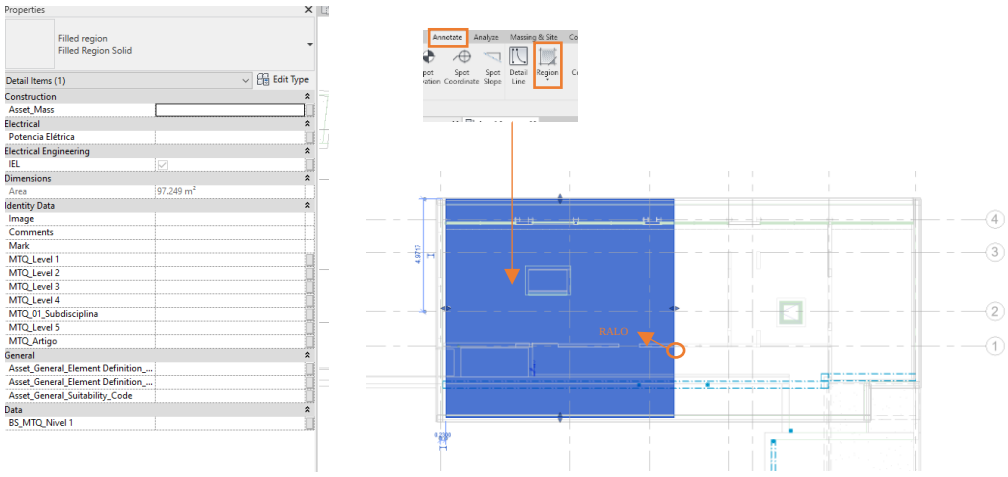


Figura 4.9- Área de influência de um ralo (*REVIT*)

3- Após isto, seleciona-se o ralo e nas suas propriedades coloca-se a área de influência correspondente ao valor anteriormente determiando.

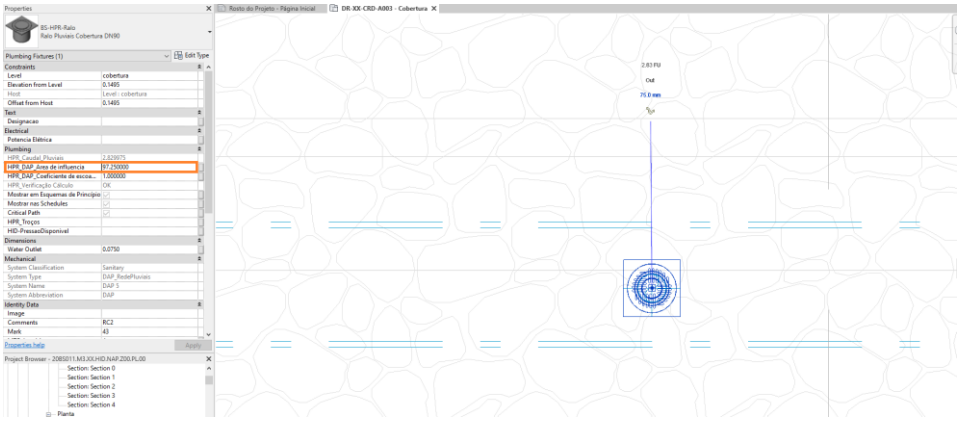


Figura 4.10- Propriedades do ralo (REVIT)

Este procedimento pode ser feito de forma manual tal como exposto nos passos anteriores ou de forma automática através de um *script* em *Dynamo*. Este constitui uma forma mais fácil e automática de inserir a área de influência dos ralos diretamente nas propriedades do ralo.

A elaboração deste s*cript*, exigiu algum grau de dificuldade pois era necessário que o *Dynamo* conseguisse de forma automática "detetar" a área de influência de cada um dos ralos. O ponto de partida deste *script* passa pela existência apenas dos ralos e das áreas de influência sem qualquer tipo de correspondência. O fluxograma representado na Figura 4.11, procura sintetizar os passos para a elaboração do *script* em *Dynamo*, sendo que nos Anexos estão representados os passos em *Dynamo* para melhor compreensão.

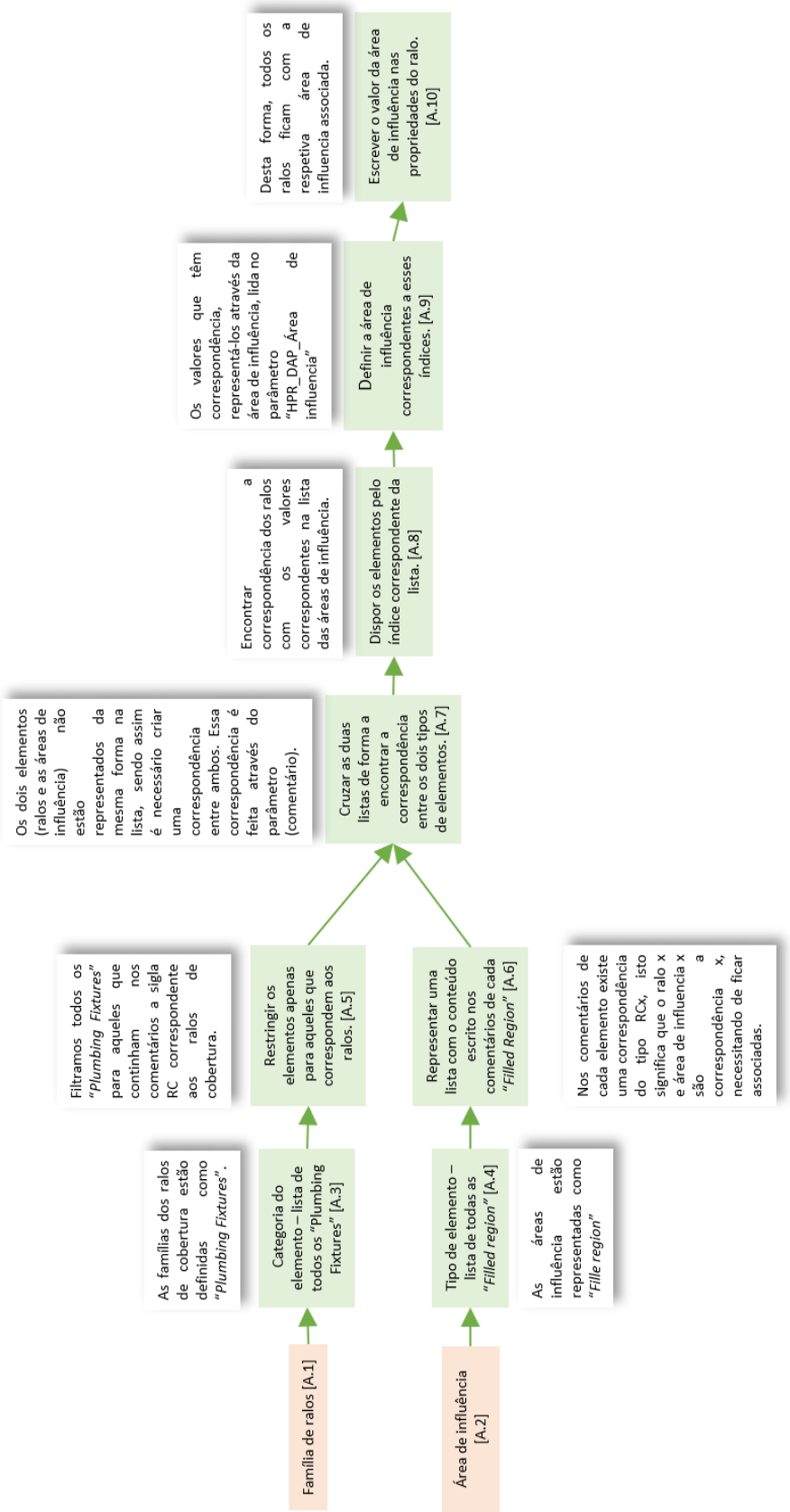


Figura 4.11- Fluxograma utilizado na elaboração do *script* em *Dynamo* para a correspondência da área de influência

4- Como os ralos estão ligados aos tubos de queda, o Revit, de forma automática, calcula o caudal em cada tubo de queda para área de influência respetiva.

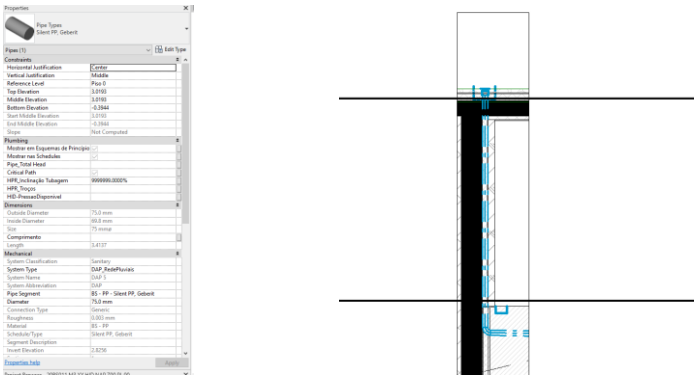


Figura 4.12- Propriedades do tubo de queda (REVIT)

5- Após isto, será feito uma verificação nas *schedules* do *Revit*, ou seja, verificar se o que está lá está certo ou errado, caso esteja errado, é necessário ir ao modelo e alterar os tubos para um diâmetro em que a verificação já não dê erros.

PLU-Cálculo Tubos de Queda

Dimensionamento de tubos de queda de águas pluviais

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Caracteristicas da Tubagem Tubagem											Capacidade Escoamento Máxima		
System Name	Referência	Comments	caudal (L/s)	Diameter	Diâmetro Interior	Material	Altura (m)	Carga Máxima Admitida (cm)	Capacidade Máxima (L/s)	Verificação da Capacidade	40xDN (m)	Capacidade Tubos Altura>40ºDN (L	Capacidade Tubos Altura<40ºDN (L/
DAP 4		TQ 1	2.77	75.0 mm	70 mm	Silent PP, Geberit	3.23	3.2	3.4	OK	3	3.4	1.7
DAP 5		TQ 2	2.77	75.0 mm	70 mm	Silent PP, Geberit	3.26	3.2	3.4	OK	3	3.4	1.7
DAP 6		TQ 4	0.87	75.0 mm	70 mm	Silent PP, Geberit	2.94	3.2	3.4	OK	3	3.4	1.7
DAP 6	TQ C_G2	TQ 5	0.88	75.0 mm	70 mm	Silent PP, Geberit	3.25	3.2	3.4	OK	3	3.4	1.7
DAP 44		TQ 3	0.29	75.0 mm	70 mm	Silent PP, Geberit	2.65	3.2	1.7	OK	3	3.4	1.7

Quadro 4.3 – Cálculo dos tubos de queda, *schedule* em Revit

6- Por fim, a rede fica calculada permitindo saber o caudal em cada um tubo de queda, conforme o Quadro 4.3.

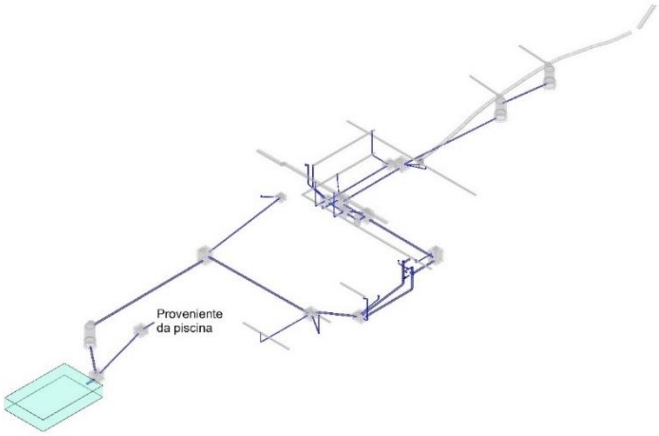


Figura 4.13- Rede de drenagem de águas pluviais (REVIT)

Tendo em conta que o dimensionamento dos tubos de queda foi feito por duas vias, utilizando o Excel e posteriormente o Revit, é possível comparar as duas metodologias e os seus resultados. Analisando o Quadro 4.1 e o Quadro 4.3, anteriormente expostos, verifica-se que os resultados de dimensionamento são iguais, ou seja, os diâmetros dos tubos de queda foram exatamente os mesmos. Desta forma, é possível concluir que, os dois métodos são perfeitamente viáveis para o cálculo permitindo chegar ao mesmo resultando.

4.5 METODOLOGIA UTILIZADA PARA O DIMENSIONAMENTO DOS ORGÃOS DE ATENUAÇÃO

Os métodos expostos no ponto 3.2 constituem diferentes metodologias de dimensionamento das bacias de retenção que correspondem a diferentes volumes de armazenamento. De forma a poder comparar os diferentes métodos foram desenvolvidas folhas de cálculo em *Excel* que, de forma automática, nos permitem perceber a aplicabilidade e a coerência entre os diferentes métodos

4.5.1 DIMENSIONAMENTO DA BACIAS DE RETENÇÃO

4.5.1.1 MÉTODO DO HIDROGRAMA TRIANGULAR SIMPLIFICADO

A folha de cálculo divide-se em 2 partes: cálculo do tempo de concentração e cálculo de volume – ver Anexo B - Folha de cálculo para o Método do Hidrograma Triangular Simplificado

1) Cálculo de tc, tempo de concentração - ver Quadro B.1. - Cálculo do tempo de concentração, tc [min]

Para o cálculo do tempo de concentração será utilizado o método desenvolvido pelo *Soil Conservation Service (SCS)* do Departamento de Agricultura dos EUA. Este método relaciona o tempo de resposta da bacia para a determinação do tempo de concentração através da seguinte expressão:

$$\mathrm{tc} = 1{,}67 \times \mathrm{tr} \tag{4.1}$$

sendo:
- tc é o tempo de concentração da bacia [h];
- tr é o tempo de resposta da bacia [h].

em que o tempo de resposta da bacia, tr, é determinado pela seguinte expressão:

$$\mathrm{tr} = \frac{2{,}587 \times \mathrm{L}^{0{,}8} \times \left[\frac{1000}{\mathrm{CN}} - 9\right]^{0{,}7}}{1900 \times \mathrm{i}^{0{,}5}} \tag{4.2}$$

sendo:
- tr é o tempo de resposta da bacia hidrográfica [h];
- CN é o número do escoamento (conforme Anexo G - Determinação do número de escoamento, CN) [-];
- L é o comprimento da bacia hidrográfica [m];
- i é o declive médio da bacia [%].

2) Cálculo do volume de armazenamento da bacia – ver Quadro B.2 – Cálculo do volume de armazenamento da bacia [m³]

O cálculo do volume de armazenamento da bacia é conforme a equação (3.1).

Embora na teoria o método termine neste último passo, para o caso prático em estudo, como será necessário ter em conta a capacidade de descarga da bacia, considerou-se o cálculo auxiliar exposto no Quadro B.3- Cálculo auxiliar tendo em conta o volume descarregado.

Sendo as variáveis em estudo:

- Altura de água máxima na bacia [m]: consiste na altura de água na bacia num dado instante considerando que toda a água está a ser retida.

$$\text{Altura de água máxima} = \frac{\text{Varmazenamento } [\text{m}^3]}{\text{Vbacia } [\text{m}^3]} \tag{4.3}$$

- hw [m]: corresponde à altura de água que influencia o caudal de saída.

$$\text{hw} = \text{ Altura de água ponderada} - \frac{\emptyset}{2} \tag{4.4}$$

- Caudal de descarga [m³/s]: corresponde ao caudal de vazão.

$$\text{Q} = \left(\text{C} \times \text{S} \times \sqrt{2 \times 9.81 \times hw}\right) \tag{4.5}$$

- Volume de descarga [m³]: corresponde ao volume descarregado tendo em conta o caudal de descarga e o tempo em causa.

$$\text{Volume de descarga} = \text{Caudal de descarga } \times \text{tempo [h]} \times 3600[\text{s}] \tag{4.6}$$

- Volume total [m³]: Corresponde ao volume existente na bacia tendo em conta o caudal descarregado.

$$\text{V total} = \text{Volume armazenado} - \text{Volume descarregado} \tag{4.7}$$

4.5.1.2 MÉTODO SEQUENCIAL

A folha de cálculo divide-se em três partes: Dados, tabela de cálculo automático e resultados – Ver Anexo C - Folha de cálculo para o Método Sequencial

1) Dados – ver Quadro C.1 - Dados iniciais correspondente as características físicas e hidrológicas da área de influência da bacia:

Para o preenchimento desta primeira parte é necessário ter conhecimento das características físicas e hidrológicas da área que contribui para a bacia de retenção, das características físicas da bacia de retenção e das características do dispositivo de descarga.

Todas as definições dos parâmetros representados no Quadro C.1 estão definidas no ponto 4.5.2.

2) Tabela de cálculo automático - Quadro C.2 – Tabela de cálculo automático

O Quadro C.2 foi desenvolvido de forma a automatizar o cálculo em Excel. No primeiro instante considera-se o caudal efluente igual a zero de modo a poder-se iniciar o cálculo do processo interativo. Assim sendo, considera-se que inicialmente a água que chega fica retida, pois existe uma ligação direta de dependência entre as seguintes variáveis – processo iterativo:

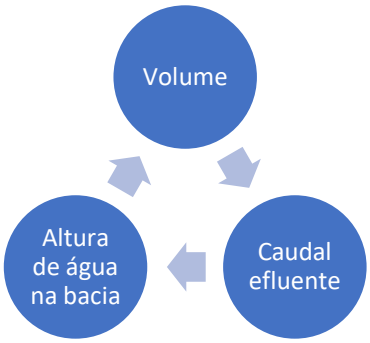


Figura 4.14- Relação de dependência entre as variáveis do cálculo automático

As variáveis em estudo são:

- Tempo [min]

O tempo varia de zero até ao tempo de duração da precipitação mais a duração cítica, ou seja, o tempo de duração da chuvada mais o tempo que a gota mais afastada demora a chegar à secção em estudo, ou seja, o tempo de concentração.

- Área [m²]

É a área que está a contribuir em função do tempo, ou seja:

$$0 \leq t < tc$$

$$A(t) = \frac{t \times A1}{tc} \tag{4.8}$$

$$tc \leq t < td$$
$$A(t) = A1 \tag{4.9}$$

$$td \leq t \leq td + tc$$
$$A(t) = \frac{A1}{tc} \times (td + tc - t) \tag{4.10}$$

sendo:
- t, tempo em estudo [min];
- tc, tempo crítico [min];
- td, tempo de duração da chuvada [min];
- A1, área de influência da bacia de retenção [m²];
- A2, área da urbanização em estudo [m²].

- Caudal afluente [l/s]:

O caudal varia com tempo e com a área que está a contribuir.

$$0 \leq A(t) < A2$$
$$Q'(t) = (A(t) \times K \times C_1 \times a \times t^b) \times \frac{10^{-3}}{3600} \tag{4.11}$$

$$A_2 \leq A(t) < A_1$$
$$Q'(A,t) = (A_2 \times K \times C_1 \times a \times t^b + (A(t) - A_2) \times K \times C_m \times a \times t^b) \times \frac{10^{-3}}{3600} \tag{4.12}$$

$$A(t) = A_1$$
$$Q'(A,t) = (A_2 \times K \times C_1 \times a \times t^b + (A_1 - A_2) \times K \times C_m \times a \times t^b) \times \frac{10^{-3}}{3600} \tag{4.13}$$

sendo:
- K, coeficiente de ajustamento [];
- C1, coeficiente de escoamento da área urbanizada [];
- a e b, parâmetros correspondentes à curva I-D-F [];
- Cm, coeficiente de escoamento global da bacia [].

- Caudal efluente [l/s]

O caudal de saída varia com a altura de água a montante, e depende do tipo de dispositivo de descarga:

- Orifício

$$Q_{efluente} = C_D \times A_s \times \sqrt{2 \times g \times H'_w} \quad (4.14)$$

$$H'_w = H_w - \frac{h_1}{2} \quad (4.15)$$

- Descarregador

$$Q_{efluente} = 1{,}83 \times L_d \times H^{1,5} \quad (4.16)$$

$$H = H_w - h2 \quad (4.17)$$

- Orifício + Descarregador

$$Q_{efluente} = C_D \times A_s \times \sqrt{2 \times g \times H'_w} + 1{,}83 \times L_d \times H^{1,5} \quad (4.18)$$

sendo:
- C_D, coeficiente de vazão [];
- As, área da secção transversal da conduta [m²];
- g, força gravítica
- Hw, altura de água a montante [m];
- H`w, altura de água que influencia o caudal de saída quando o descarregador é um orifício [m];
- h1, altura da conduta [m];
- h2, altura de água que a bacia contém permanentemente [m];
- Ld, largura da crista do descarregador [m].

- Volume unitário

É o volume acumulado num minuto, supondo que se considera um minuto a variação do tempo

- Volume acumulado

É o volume que se vai acumulando ao longo do tempo. Estes valores nunca podem ser negativos, ao contrário do volume unitários, em que um volume negativo representa o esvaziamento da bacia de retenção.

- Altura de água a montante (Hw)

É a altura máxima a montante que irá influenciar o caudal efluente. Esta altura de água, pode ser determinada com base na forma da água retida a montante, podendo esta ser piramidal ou prismática. Outra forma viável de poder determinar a altura de água na bacia poderá ser feito através da relação entre o caudal e volume existente na bacia, dada pela seguinte expressão:

$$\mathrm{Hw} = \frac{\mathrm{Q\ afluente} - \mathrm{Q\ efluente}}{\mathrm{V\ acumulado}} \tag{4.19}$$

- Cálculo auxiliar

Cálculo que corresponde à altura de água que influencia o caudal de saída se o dispositivo de descarga for o orifício, conforme Figura 4.15- Altura de água que influencia o caudal de saída, H`w [m]

$$\mathrm{H`w} = \mathrm{h} - \frac{\mathrm{h1}}{2} \tag{4.20}$$

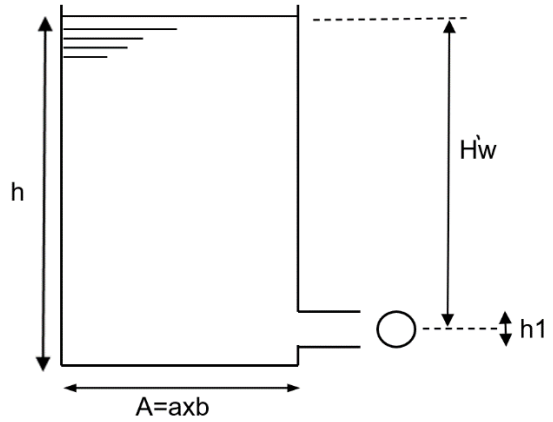


Figura 4.15- Altura de água que influencia o caudal de saída, H`w [m]

4.5.1.3 MÉTODO DE REGRESSÃO DE PAGAN

A folha de cálculo utilizada para este método divide-se em duas partes; uma primeira onde se calcula o parâmetro SP tal como referido na equação (3.2) e uma segunda onde se calcula o volume máximo de acordo com a equação (3.3). – ver Anexo D - Folha de cálculo para o Método de Regressão de Pagan

1) Cálculo do parâmetro SP e do volume máximo armazenado – ver Quadro D.1 - Cálculo do volume máximo segundo o Método de Regressão de Pagan [m³]
2) Cálculo auxiliar - ver Quadro D.2 – Cálculo auxiliar tendo em conta o volume descarregado

Tal como exposto no método sequencial é necessário ter em conta a capacidade de descarga da bacia e, portanto, considerou-se o cálculo auxiliar exposto no Quadro D.2.

4.5.1.4 MÉTODO HOLANDÊS

O método holandês foi dividido em duas partes – ver Anexo E- Folha de cálculo para o Método Holandês

1) Cálculo do volume útil em [m³] – ver Quadro E.1 - Cálculo do Volume útil em [m³] segundo o Método Holandês;

Sendo as variáveis em estudo:
- Região pluviométrica – com base no anexo
- T- Período de retorno [anos];
- a – Parâmetro da curva de intensidade – duração;
- b- Parâmetro da curva de intensidade – duração;
- t- Duração da chuvada [min];
- Intensidade da precipitação [l/s/ha];

$$I = \frac{a \times t^{\frac{b}{60}}}{60} \times 1000 \text{ [l/s/ha]} \tag{4.21}$$

em que:
- A - Área da bacia hidrográfica de drenagem [ha];
- C - Coeficiente de escoamento;
- q – Caudal máximo efluente [m³/s];

$$q = \frac{C \times I \times A}{1000} \text{ [m}^3\text{/s]} \tag{4.22}$$

em que:
- qs – Caudal específico efluente conforme expressão (3.5);
- V- Volume útil em m³ conforme a expressão (3.4);

No seguimento dos valores determinados acima, procede-se à segunda parte de aplicação do método onde se calcula o volume final da bacia tendo em conta a sua capacidade de descarga.

2) Cálculo do volume final da bacia [m³] - ver Quadro E.2 - Cálculo do volume final da bacia segundo o Método Holandês [m³];

As variáveis a considerar são:

- Hw [m] conforme a equação (4.20);

- Caudal de descarga da bacia [l/s] :

$$Q = C \times S\sqrt{2 \times 9.81 \times Hw} \times 1000 \tag{4.23}$$

- Volume final da bacia:

$$V_{final} = V_{útil} - V_{descarregado} \tag{4.24}$$

- Volume total descarregado [m³]:

$$\text{Volume descarregado} = \text{Caudal de descarga} \times \text{tempo duração da chuvada} \tag{4.25}$$

- Área da bacia de retenção [m²]: Valor arbitrado inicialmente.

- Profundidade da bacia de retenção [m]:

Se se considerar a bacia retangular, esta profundidade será dada por:

$$\text{Profundidade da bacia de retenção} = \frac{\text{Vfinal da bacia } [m^3]}{\text{Área da bacia } [m^2]} \tag{4.26}$$

4.5.2 CASO DE ESTUDO – APLICAÇÃO

Como já referido anteriormente, o objetivo deste trabalho consiste no dimensionamento da bacia de retenção para o caso de estudo. No parágrafo anterior foram expostos os diferentes métodos bem como a metodologia de cálculo utilizada. Assim sendo, agora de uma forma mais prática, irem ser apresentados os diferentes métodos de forma a perceber as suas aplicabilidades.

Parâmetros iniciais

Os parâmetros inicias constituem os “dados” das folhas de cálculo, ou seja, são parâmetros comuns a todos os métodos e que de forma resumida permite o seu estudo de forma interligada. Assim sendo, foi criada uma primeira folha de Excel onde são listados todos os parâmetros que serão necessários para aplicação dos diferentes métodos permitindo que seja realizada uma análise inicial das condições hidrológicas do caso de estudo.

Designação: Casa Rio	
Local:	Tomar
Região pluviométrica:	A
Período de retorno [anos]:	10
Parâmetro da curva de itensidade a:	290,58
Parâmetro da curva de itensidade b:	-0,549
Duração da chuvada [min]:	60
*** Tempo crítico, tc [min]:**	0,61
Área de influência da bacia de retenção [m²]:	2285,00
Área de influência da urbanização em estudo [m²]:	1285,00
Coef. de ajustamento:	0,80
Coef. de escoamento global da bacia:	0,54
Coef. de escoamento da área urbanizada:	0,73
Diâmetro da conduta [m]:	0,05
Área da secção transversal da conduta [m2]:	0,002
Coeficiente de vazão:	0,6
Caudal de ponta pós urbanização [m3/s]:	27,25
Caudal de ponta pré-urbanização [m3/s]:	10,80
Comprimento da bacia [m]:	5
Largura da bacia [m]:	5
Área da bacia [m²]:	25

Quadro 4.4 - Dados iniciais do projeto em estudo

Os elementos escritos no quadro são:

- Local

Corresponde ao local, distrito, onde se situa o projeto em estudo. No caso em estudo, o edifício situa-se em Tomar.

- Região pluviométrica

Com base no Anexo H, sendo que Tomar pertence à região pluviométrica do tipo A.

- Período de retorno

O período de retorno corresponde ao intervalo entre ocorrências de igual amplitude, assume valores múltiplos de 5. Para o caso em estudo, adotou-se o valor de 10 anos.

- Parâmetro da curva de intensidade, a e b

São determinados tendo em cota a região pluviométrica (A, B e C) e o período de retorno (5,10 e 15), podendo os seus valores serem os seguintes:

		A	B	C
a	5	259,26	207,41	311,11
	10	290,58	232,21	348,42
	15	317,74	254,19	381,29

		A	B	C
b	5	-0,562	-0,562	-0,562
	10	-0,549	-0,549	-0,549
	15	-0,538	-0,538	-0,538

Quadro 4.5 - Parâmetros da curva de intensidade, a e b

Para o caso em estudo, sendo a região pluviométrica do tipo A e o período de retorno de 10 anos, a e b assumem o valor de 290,58 e -0,549, respetivamente.

- Duração da chuvada [min]

A duração da chuvada corresponde ao tempo de duração da precipitação. Para o caso em estudo, admitiu-se uma duração de chuvada de 60min.

- Tempo de concentração, tc [min]

Existem vários métodos para estimar este tempo de concentração, o escolhido para este caso foi o "Método de *Soil Conservation Service*". Este método relaciona o tempo de resposta da bacia de forma a determinar o tempo de concentração, através da seguinte expressão:

$$\mathrm{tc} = 1{,}67 \times \mathrm{tr} \tag{4.27}$$

Onde tc [h] é o tempo de concentração e tr [h] é o tempo de resposta da bacia. O tempo de resposta da bacia, tr, é dado pela seguinte expressão : (Methods & Durrans, 2003)

$$\mathrm{tr} = \frac{2{,}587 \times \mathrm{L}^{0{,}8} \times \left[\frac{1000}{\mathrm{CN}} - 9\right]^{0{,}7}}{1900 \times \mathrm{i}^{0{,}5}} \tag{4.28}$$

Onde tr [h] é o tempo de resposta da bacia hidrográfica, CN[-] é o número do escoamento (conforme Anexo G), L [m] é o comprimento da bacia hidrográfica e i [%] é o declive médio da bacia.

Para o caso em estudo, estes foram os valores adotados:

L [m] =	100
CN [-]=	75
i [%] =	17%

tr [h] =	0,37
tc [h] =	0,61

Quadro 4.6 - Valores obtidos para o tc [h] pelo Método de Soil Conservation Service

- Área de influência da bacia de retenção [m²]

A área de influência da bacia de retenção corresponde a toda a área que contribui para a bacia de retenção, assim sendo, corresponde a toda a área assinalada a amarelo, sendo o seu valor 2 285,00m².

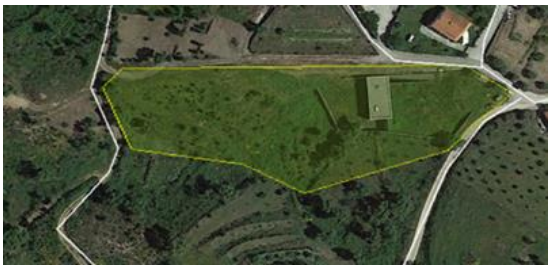


Figura 4.16- Área de influência da bacia de retenção

- Área de influência da urbanização em estudo [m²]

A Área de influência da urbanização em estudo corresponde à área que apenas será urbanizada, ou seja, corresponde à área assinalada a vermelho na Figura 4.17, que representa um valor de 1 285m².

Figura 4.17- Área de influência da urbanização em estudo

- Coeficiente de ajustamento

O coeficiente de ajustamento é um coeficiente aplicado ao somatório das áreas privativas, é variável em função dos escalões de área para as afetações, como se trata de um edifício onde toda

a área representa corresponde a área bruta privativa, a aplicação de um coeficiente 1,00 é a indicada. (Direção de Serviços de Avaliações, 2011),

- Coeficiente de escoamento global da bacia

O coeficiente de escamento global da bacia foi determinado tendo em conta as contribuições de cada área para os coeficientes de escoamento, de acordo com a equação (4.29). O Quadro 4.7 representa os valores do coeficiente de escoamento da área urbanizada para o caso de estudo.

Coefiente escoamento da área urbanizada			
Coeficientes de escoamento	Área		
C=1	785,0		
C=0,85	0,0		
C=0,3	500,0		
	1 285,0	**Cm=**	**0,73**

Quadro 4.7 - Coeficiente de escoamento da área urbanizada

$$\mathrm{Cm} = \frac{(1 \times 785) + (0.85 \times 0) + (0.3 \times 500)}{1285} = 0.73 \tag{4.29}$$

- Coeficiente de escoamento da área urbanizada

O coeficiente de escoamento da área urbanizada foi determinado da mesma forma que o anterior, contudo os valores em causa são agora a área urbanizada e não urbanizada. O Quadro 4.8 representa o coeficiente de escoamento global da bacia de retenção para o caso de estudo.

Coeficiente de escoamento global da bacia de retenção			
Área urbanizada=	1 285,0 [m²]	C=	0,73
Área não urbanizada=	1000,0 [m²]	C=	0,3
Total=	2 285,0 [m²]		
		Cglobal=	**0,540**

Quadro 4.8 - Coeficiente de escoamento global da bacia de retenção

- Diâmetro da conduta [m]

O diâmetro da conduta corresponde ao diâmetro (Ø) do orifício de descarregamento da bacia de retenção.

- Área da secção transversal da conduta [m²]

A área da secção transversal da conduta é calculada segundo a equação:

$$As = \pi \times \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2 \tag{4.30}$$

sendo:
- π, número Pi cujo valor é 3,14159…
- ∅, diâmetro da secção da conduta [m]

- Coeficiente de vazão

O coeficiente de vazão poderá variar segundo os valores representados no Quadro 4.9. No caso em estudo, adotou-se o valor de 0,6 por ser o valor mais comum.

Valores de C	
médio	0,6
variação habitual	0,59 - 0,63
para cargas muito baixas	0,7
com tubo exterior adicional	0,86

Quadro 4.9 – Valores do coeficiente de vazão, C

- Caudal de ponta para a situação de pós-urbanização [l/s]

O caudal de ponta para a situação de pós-urbanização corresponde ao caudal máximo existente na rede de drenagem de águas pluviais. Esse caudal é correspondente à última ligação na rede. Assim sendo, depois de ter feito o dimensionamento das redes pluviais conclui-se que o caudal da situação de pós-urbanização seria de 27.25 l/s.

- Caudal de ponta para a situação de pré-urbanização [l/s]

O caudal de ponta para a situação de pré-urbanização foi calculado exatamente da mesma forma, mas agora considerando que toda a área corresponde a jardim e portante tem um coeficiente de escoamento de 0.3. Obteve-se o valor de 10.80 l/s.

- Comprimento da bacia [m], largura da bacia [m] e área da bacia [m²]

O comprimento e largura da bacia são valores coerentes e arbitrados de acordo com as dimensões do terreno disponível. Neste caso atribui-se o valor de 5m para a largura da bacia e 5m para o comprimento, a que corresponde uma área de 25 m².

<u>Aplicação dos métodos</u>

Tendo em conta os dados anteriormente expostos e utilizando os mesmos para as condições inicias de todos os métodos foi possível obter diferentes resultados.

1. Método "holandês"

Método Holandês

Cálculo do volume da bacia de retenção:

Região Pluviométrica:	A											
T - Período de retorno:	10											
a - parâmetro da curva intensidade - duração:	290,58											
a/60 - parâmetro da curva intensidade - duração:	4,84											
b - parâmetro da curva intensidade - duração:	-0,549											
t - Duração da chuvada [min]:	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
I - Intensidade de precipitação [mm/min]:	120,10	82,09	65,70	56,10	49,64	44,91	41,26	38,35	35,95	33,93	32,20	30,69
A - Área da bacia hidrográfica de drenagem (ha) :	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
C - Coeficiente de escoamento:	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
q - Caudal máximo efluente [l/s]	14,8	10,1	8,1	6,9	6,1	5,5	5,1	4,7	4,4	4,2	4,0	3,8
q - Caudal máximo efluente [m³/s]	0,0148	0,0101	0,0081	0,0069	0,0061	0,0055	0,0051	0,0047	0,0044	0,0042	0,0040	0,0038
q_s - Caudal especifico efluente [mm/min]	0,72	0,49	0,39	0,34	0,30	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19	0,18
V - Volume útil em m³:	8	11	13	15	17	18	20	21	22	23	24	25
hw (Carga estática) [m]	0,30	0,27	0,36	0,40	0,43	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47
Caudal de descarga da Bacia (l/s)	2,9	2,7	3,1	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
Volume Final da Bacia (m³)	7	10	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
Volume Total Descarregado (m³)	0,86	1,62	2,81	3,95	5,12	6,27	7,41	8,53	9,64	10,72	11,79	12,83
Area da Bacia de retenção(m²)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Profundidade Bacia de retenção (m)	0,29	0,38	0,42	0,45	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49

Quadro 4.10 - Aplicação prática do Método Holandês em Excel

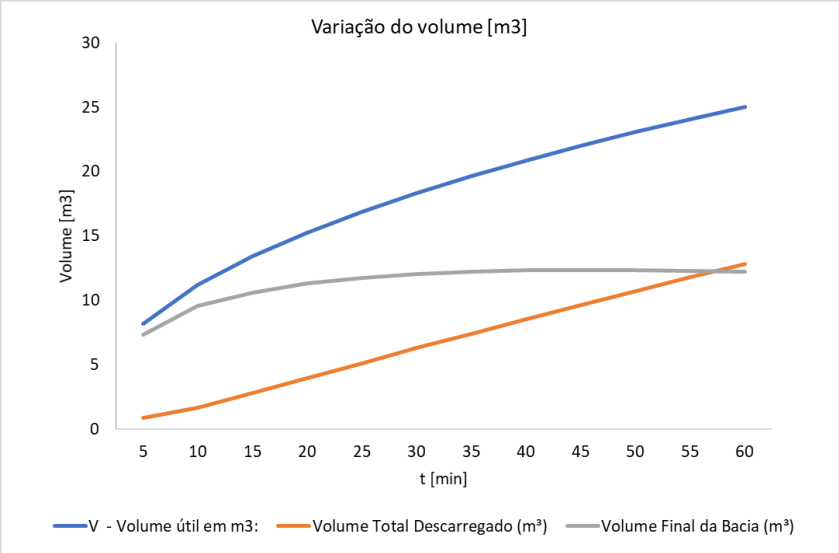


Gráfico 4.1- Variação do volume [m³]

Tendo em conta a aplicação prática do Método Holandês utilizando a folha de cálculo automática em Excel, verifica-se que o volume final da bacia, chega a determinado momento, em que diminui no tempo à medida que o volume descarregado aumenta. Tendo em conta uma duração de chuvada de 60min verificou-se que o volume útil da bacia aumenta, contudo, pelo facto de considerar que a bacia está a descarregar um determinado caudal ao longo do tempo, leva a que o volume final não seja o volume total acumulado. Posto isto, para uma duração de chuvada de 60mm, considerando a bacia com 25m² de área, o volume útil seria de 12m³.

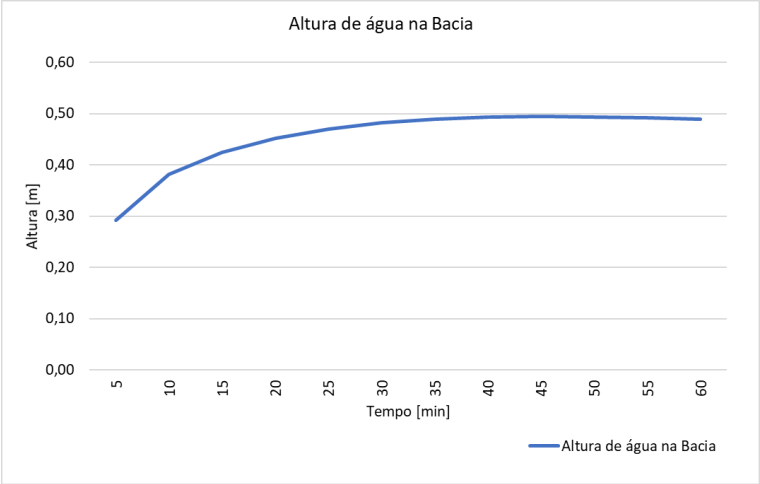


Gráfico 4.2 - Altura de água na bacia [m]

Devido ao facto de, em determinado momento, o volume útil da bacia diminuir ao longo do tempo, implica consequentemente que, a altura de água na bacia também diminua na mesma proporção.

2. Método do hidrograma triangular simplificado

Resume-se no quadro seguinte os elementos de base associados a este método.

Método do hidrograma triagular simplificado	
1. Cálculo tc (Método de Soil Conservations Service)	
L [m] =	100
CN [-]=	50
i [%] =	18%
tr [h] =	0,68
tc [h] =	1,14
2. Cálculo do Volume	
Tb [h] =	3,05
Qi [l/s] =	27,25
Qo [l/s] =	10,80
V [m3] =	90,4

Quadro 4.11 – Aplicação do Método do hidrograma triangular simplificado em Excel

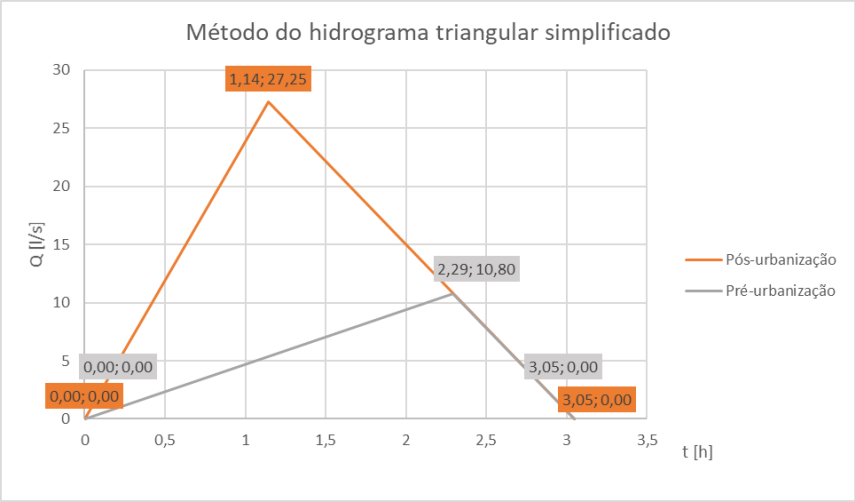


Gráfico 4.3– Relação do caudal de pós e pré-urbanização [l/s] com o tempo [h]

Aplicando o raciocínio de cálculo apresentado no ponto 3.2.1 verifica-se que o caudal de ponta para o caso em estudo corresponde a 27,25m³ sendo que este valor é atingido ao fim de 1,14h = tempo crítico (tc). O Gráfico 4.3 permite também verificar que o caudal de ponta para a situação de pós-urbanização ocorre primeiro, e em valor maior, que o caudal de ponta para a situação de pré-urbanização, ora, esta situação já seria de esperar uma vez que a situação de pós-urbanização corresponde a uma área de impermeabilização maior e, portanto, a um maior caudal de escoamento.

Este cálculo auxiliar foi feito de forma a determinar o volume armazenado ao fim de uma hora. Uma vez que o método calcula o volume armazenado para um Tb=3.05h era necessário determinar a capacidade de descarga da bacia e desta forma o volume descarregado ao fim de uma hora permitindo determinar o volume final existente para as condições inicias impostas.

Cálculo auxiliar- tendo em conta volume descarregado	
Altura de água na bacia [m]	3,62
hw [m]	3,59
Caudal de descarga [m³/s]	0,01
Volume de descarga [m³]	35,60
Volume total [m³]	**54,8**

Quadro 4.12 – Cálculo auxiliar

3. Método Sequencial

Método sequencial		
DADOS:		
Área de influência da bacia de retenção	A1[m2]=	2285,00
Área da urbanização em estudo	A2[m2]=	1285,00
Coef. de escoamento global da bacia	Cm[]=	0,54
Coef. de escoamento da área urbanizada	C1[]=	0,72762646
Coef. de ajustamento	K[]=	1,00
Tempo de concentração da bacia	tc[min]=	0,61
Tempo de duração da chuvada	td[min]=	60
Parâmetros referentes às curvas I-D-F	a[]=	290,58
	b[]=	-0,549
Descarregador=1; Orifício=0; Descarregador + Orifício=2		0
Altura da conduta	h1 [m]=	0,05
Área da secção transversal da conduta	AS [m2]=	0,002
Coeficiente de vazão	CD []=	0,6

Quadro 4.13 - Dados inicias do Método Sequencial

TABELA DE CÁLCULO AUTOMÁTICO:

Tempo	Área	Q afluente	Cálculo Auxiliar Hw-h1/2	Q efluente	Q afluente - Q efluente	V unitário	V acumulado	Hw
[min]	[m2]	[m3/s]	[m]	[m3/min]	[m3/s]	[m3]	[m3]	[m]
0	0,00	0	0	0	0	0	0	0
1	2285,00	0,12	0	0	0,12	3,57	3,57	0,14
2	2285,00	0,08	0,117915	0,001363	0,08	2,40	5,97	0,24
3	2285,00	0,07	0,213961	0,002473	0,06	1,88	7,85	0,31
4	2285,00	0,06	0,289182	0,003342	0,05	1,57	9,42	0,38
5	2285,00	0,05	0,351936	0,004067	0,05	1,35	10,78	0,43
6	2285,00	0,04	0,406122	0,004694	0,04	1,20	11,97	0,48
7	2285,00	0,04	0,453931	0,005246	0,04	1,07	13,04	0,52
8	2285,00	0,04	0,496739	0,005741	0,03	0,97	14,01	0,56
9	2285,00	0,04	0,535484	0,006189	0,03	0,88	14,90	0,60
10	2285,00	0,03	0,570833	0,006597	0,03	0,81	15,71	0,63
11	2285,00	0,03	0,603288	0,006972	0,02	0,75	16,46	0,66
12	2285,00	0,03	0,633235	0,007318	0,02	0,69	17,15	0,69
13	2285,00	0,03	0,66098	0,007639	0,02	0,64	17,79	0,71
14	2285,00	0,03	0,686769	0,007937	0,02	0,60	18,40	0,74
15	2285,00	0,03	0,710807	0,008215	0,02	0,56	18,96	0,76
16	2285,00	0,03	0,733264	0,008474	0,02	0,53	19,48	0,78
17	2285,00	0,03	0,754285	0,008717	0,02	0,49	19,97	0,80
18	2285,00	0,02	0,773993	0,008945	0,02	0,46	20,44	0,82
19	2285,00	0,02	0,792496	0,009159	0,01	0,43	20,87	0,83
20	2285,00	0,02	0,809887	0,00936	0,01	0,41	21,28	0,85
21	2285,00	0,02	0,826249	0,009549	0,01	0,39	21,67	0,87
22	2285,00	0,02	0,841655	0,009727	0,01	0,36	22,03	0,88
23	2285,00	0,02	0,856169	0,009895	0,01	0,34	22,37	0,89
24	2285,00	0,02	0,869851	0,010053	0,01	0,32	22,69	0,91
25	2285,00	0,02	0,882753	0,010202	0,01	0,30	23,00	0,92
26	2285,00	0,02	0,894923	0,010343	0,01	0,29	23,29	0,93
27	2285,00	0,02	0,906404	0,010475	0,01	0,27	23,56	0,94
28	2285,00	0,02	0,917236	0,010601	0,01	0,26	23,81	0,95
29	2285,00	0,02	0,927455	0,010719	0,01	0,24	24,05	0,96
30	2285,00	0,02	0,937094	0,01083	0,01	0,23	24,28	0,97

31	2285,00	0,02	0,946185	0,010935	0,01	0,21	24,49	0,98
32	2285,00	0,02	0,954756	0,011034	0,01	0,20	24,70	0,99
33	2285,00	0,02	0,962833	0,011128	0,01	0,19	24,89	1,00
34	2285,00	0,02	0,970441	0,011216	0,01	0,18	25,07	1,00
35	2285,00	0,02	0,977603	0,011298	0,01	0,17	25,23	1,01
36	2285,00	0,02	0,98434	0,011376	0,01	0,16	25,39	1,02
37	2285,00	0,02	0,990672	0,011449	0,00	0,15	25,54	1,02
38	2285,00	0,02	0,996618	0,011518	0,00	0,14	25,68	1,03
39	2285,00	0,02	1,002195	0,011583	0,00	0,13	25,81	1,03
40	2285,00	0,02	1,00742	0,011643	0,00	0,12	25,93	1,04
41	2285,00	0,02	1,012309	0,011699	0,00	0,11	26,05	1,04
42	2285,00	0,02	1,016876	0,011752	0,00	0,11	26,15	1,05
43	2285,00	0,02	1,021135	0,011801	0,00	0,10	26,25	1,05
44	2285,00	0,01	1,0251	0,011847	0,00	0,09	26,34	1,05
45	2285,00	0,01	1,028782	0,01189	0,00	0,09	26,43	1,06
46	2285,00	0,01	1,032193	0,011929	0,00	0,08	26,51	1,06
47	2285,00	0,01	1,035345	0,011966	0,00	0,07	26,58	1,06
48	2285,00	0,01	1,038249	0,011999	0,00	0,07	26,65	1,07
49	2285,00	0,01	1,040914	0,01203	0,00	0,06	26,71	1,07
50	2285,00	0,01	1,043349	0,012058	0,00	0,06	26,76	1,07
51	2285,00	0,01	1,045565	0,012084	0,00	0,05	26,81	1,07
52	2285,00	0,01	1,04757	0,012107	0,00	0,05	26,86	1,07
53	2285,00	0,01	1,049372	0,012128	0,00	0,04	26,90	1,08
54	2285,00	0,01	1,050979	0,012146	0,00	0,04	26,93	1,08
55	2285,00	0,01	1,052399	0,012163	0,00	0,03	26,97	1,08
56	2285,00	0,01	1,053639	0,012177	0,00	0,03	26,99	1,08
57	2285,00	0,01	1,054705	0,012189	0,00	0,02	27,02	1,08
58	2285,00	0,01	1,055606	0,0122	0,00	0,02	27,03	1,08
59	2285,00	0,01	1,056346	0,012208	0,00	0,01	27,05	1,08
60	2285,00	0,01	1,056932	0,012215	0,00	0,01	27,06	1,08

Quadro 4.14 – Tabela de cálculo automático do Método Sequencial, em Excel

RESULTADOS:		
Volume armanezar	[m3]=	27,06
Profundidade máxima da bacia	[m]=	1,08
Área do espelho da água	[m2]=	25
Comprimento do espelho	[m]=	5
Largura do espelho	[m]=	5
Caudal máximo efluente	[l/s]=	0,20
Caudal máximo afluente	[l/s]=	1,98
Máxima variação de caudal (Qentrada - Qsaída)	[l/s]=	1,98

Quadro 4.15 – Resultados obtidos para o Método Sequencial

O método sequencial constitui, dos quatro métodos apresentados, aquele que integra uma maior pormenorização de estudo. Analisa ao longo do tempo a variação do caudal existente na bacia tendo em conta as condições de descarga da mesma, desta forma, permite perceber a variação exata do volume ao longo do tempo. O volume a armazenar corresponde ao volume máximo existente na bacia ao longo da duração da chuvada.

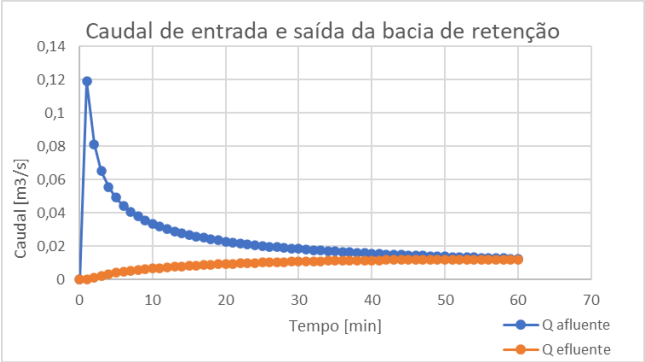


Gráfico 4.4 - Relação do caudal [m³/s] vs tempo [min]

Pela análise do Gráfico 4.4 percebe-se que existe um pico no caudal afluente ao longo dos primeiros 5min mas que este vai diminuindo ao longo do tempo à medida que o caudal efluente vai aumentando, chegando a um momento no tempo em que ambos se igualam correspondente a situação em que volume da bacia se iguala praticamente a 0m³.

Ao longo do tempo, considerando as condições de descarga, existe um determinado volume que vai ficando acumulado na bacia, esse volume existente na bacia vai aumentando ao longo do tempo, sendo que o Gráfico 4.5 procura representar isso mesmo, a relação do volume acumulado com o tempo.

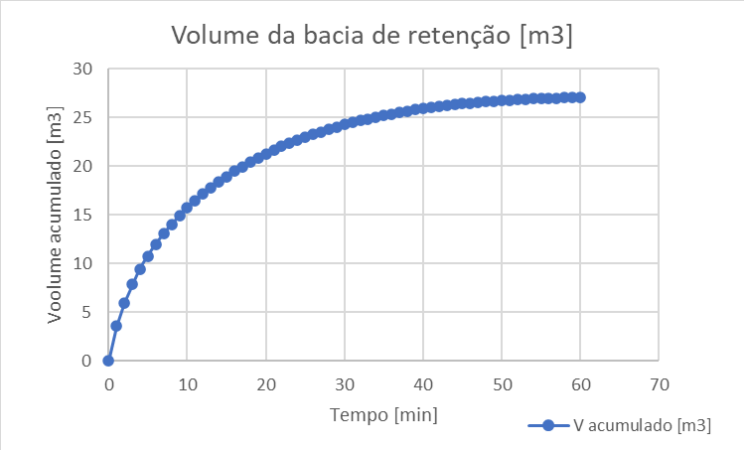


Gráfico 4.5 - Relação do Volume acumulado [m³] vs tempo [min]

A altura do nível de água na bacia está relacionada diretamente com o volume acumulado da água mesma. Assim sendo, já seria de esperar que esta aumentasse na mesma proporção que aumenta o volume acumulado tal como o representado no Gráfico 4.6.

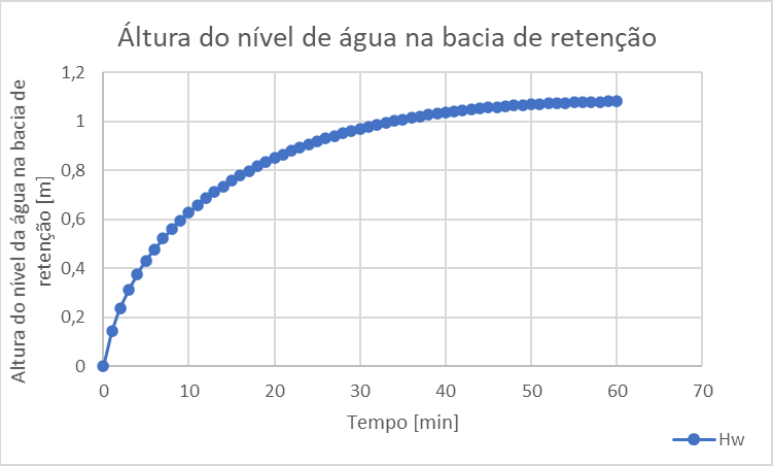


Gráfico 4.6 - Relação do Hw [m] vs tempo [h]

4. <u>Método de Regressão de Pagan</u>

Resume-se no quadro seguinte os elementos base necessários à aplicação deste método.

Método de regressão de Pagan Recomendado para períodos de retorno não superiores a 10 anos e bacias com área <0,8km2	
Parâmetro de armanezamento = SP	
$SP = -2883{,}1 \cdot \ln\left(\frac{Q_o}{Q_i}\right) + 13408$	
Qo [m3/s] =	0,010799
Qi [m3/s] =	0,027254
SP [s] =	2799,699569
Vmáx	
$V_{máx} = SP \cdot Q_i$	
Vmáx [m3] =	76,30

Quadro 4.16 - Método de Regressão de Pagan utilizando uma folha de cálculo Em Excel

O Método de Regressão de Pagan, tem uma exigência de cálculo bastante simples. Aplicando as condições anteriormente enumeradas no ponto 4.5.1.3, o volume de armazenamento necessário seriam 76,30m³.

Contudo, tal como apresentado no <u>Método "holandês"</u>, determinou-se um novo volume de armazenamento tendo em conta o volume descarregado ao fim de 1h, tal como representado no Quadro 4.17.

Cálculo auxiliar- tendo em conta volume descarregado	
Altura de água na bacia [m]	3,05
hw [m]	3,03
Caudal de descarga [m³/s]	0,01
Volume de descarga [m³]	32,68
Volume total [m³]	**43,6**

Quadro 4.17 - Cálculo auxiliar de forma a determinar o volume de descarga

Assim sendo, o volume final de armazenamento tendo em conta a situação de descarga da bacia corresponde a 43,6m³.

4.5.3 RESULTADOS FINAIS – ANÁLISE

Os resultados finais estão sintetizados no Quadro 4.18. É possível verificar que todos os métodos deram resultados diferentes. O Método Holandês e o Sequencial aproximam-se na mesma ordem de grandeza que o Método Hidrograma Triangular e Regressão de Pagan.

RESULTADOS:

	Método Holandês	Método hidrograma triangular	Método Regressão Pagan	Método Sequencial
Volume total de armazenamento [m3]:	**12**	**55**	**44**	**27**
Altura da água na bacia [m]:	0,49	3,62	3,05	1,08
Área da bacia [m2]:	25	25	25	25

Quadro 4.18- Resultados finais nos diferentes métodos

O estudo destes diferentes métodos teve como principal objetivo perceber a sua aplicabilidade às bacias de retenção. Assim, é legítimo considerar que o Método Holandês e Método Sequencial são os mais completos em termos de metodologia de cálculo. O facto do Método de Regressão de Pagan ser bastante simples a nível de aplicabilidade e compreensão, foi utilizado como ponto de partida para um próximo estudo que será descrito no capítulo seguinte.

Os resultados diferentes já seriam de esperar uma vez que, apesar de todos os métodos seguirem os mesmos dados iniciais, a metodologia de cálculo não é a mesma. O Método Holandês e o Método Sequencial são os dois métodos que de forma integrada incluem as condições de descarga da bacia, ou seja, consideram que a bacia vai retendo a água da chuva, mas que ao mesmo tempo também vai descarregando um determinado caudal. Já o Método do Hidrograma triangular e o da Regressão de Pagan não têm tal em conta, obrigando, portanto, a criar um passo de cálculo auxiliar.

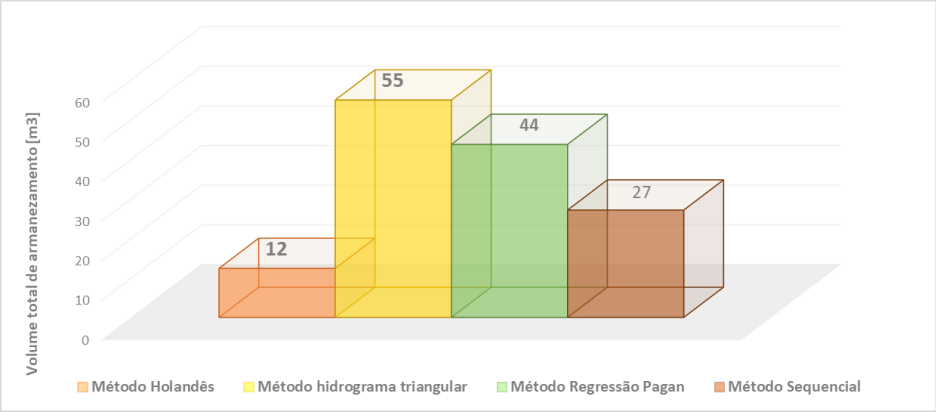


Gráfico 4.7 - Relação do volume [m³] nos diferentes métodos

5

DYNAMO NO DIMENSIONAMENTO DOS ORGÃOS DE ATENUAÇÃO

5.1 DYNAMO

O Dynamo é uma ferramenta que veio facilitar várias operações no Revit, permitiu completa-lo na automação, evitando processos repetitivos e iterações. Devido à linguagem corrente existente no Dynamo, sem necessidade de conceitos complexos, a programação com o mesmo é bastante intuitiva e rápida.

Para criar um *script* em Dynamo é apenas necessário montar um conjunto de tarefas sucessivas, sendo que cada uma é entendida como um comando individual e próprio do Revit. Estas tarefas podem surgir em forma de operação matemática ou texto, sendo posteriormente executas manualmente ou automaticamente.

Existe um conjunto de funcionalidades no Dynamo que contribuem para a interoperabilidade com o Revit, conforme representado na figura seguinte:

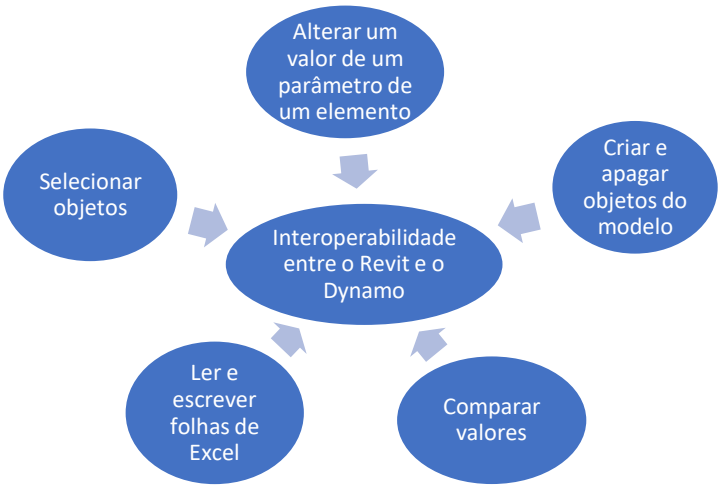


Figura 5.1- Características do Dynamo que contribuem para a interoperabilidade com o Revit

O objetivo final é o utilizador não visualizar em Dynamo mas sim recorrer ao Dynamo *player*, uma ferramenta que faz correr os correspondentes scripts, criados previamente, do modo mais eficaz possível.

Segundo Anderle (2016) existem 4 áreas de atuação do Dynamo para o Revit e que vêm comprovar o que foi dito anteriormente. Essas áreas são:

a. Extração de dados;
b. Visualização;
c. Processamento de dados;
d. Criação.

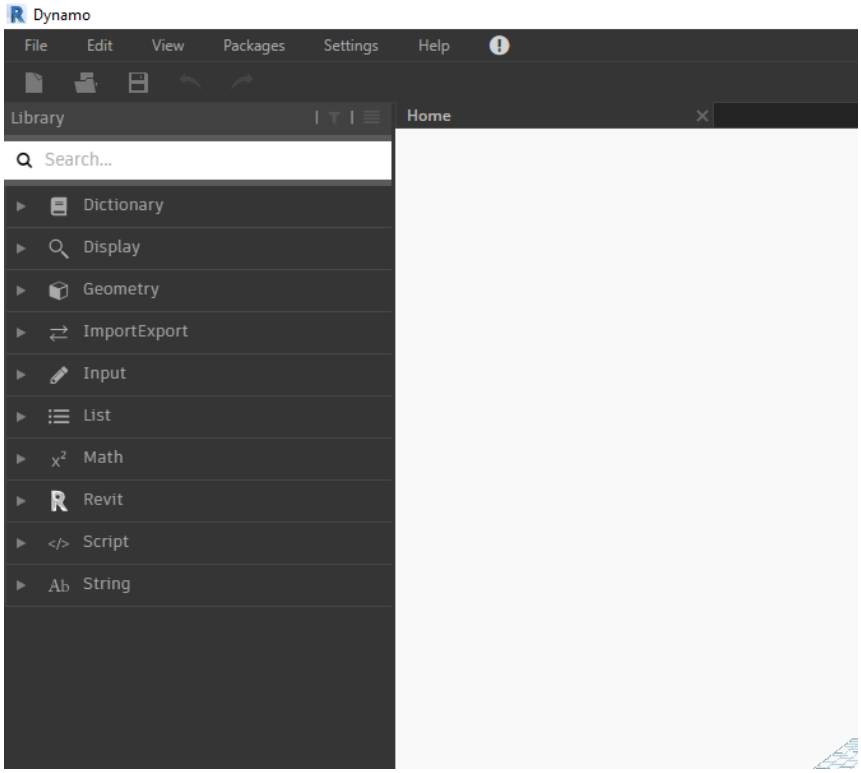


Figura 5.2- Página principal do Dynamo

5.2 SCRIPT EM DYNAMO – APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO

Como já foi referido anteriormente, o objetivo principal deste trabalho é o dimensionamento de uma bacia de retenção capaz de atenuar a água da chuva. Ora, o Dynamo, permite otimizar e minimizar o trabalho do projetista nesse aspeto.

Desta forma, foi desenvolvida uma metodologia de cálculo capaz de fazer o dimensionamento das bacias de retenção tendo em conta as condições iniciais do projeto, para isso, utilizou-se o Método de Regressão de Pagan como base de cálculo da bacia de retenção do caso de estudo apresentado anteriormente.

5.2.1 DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE RETENÇÃO

O processo de cálculo teve como objetivo o dimensionamento da bacia de retenção representada na Figura 5.3.

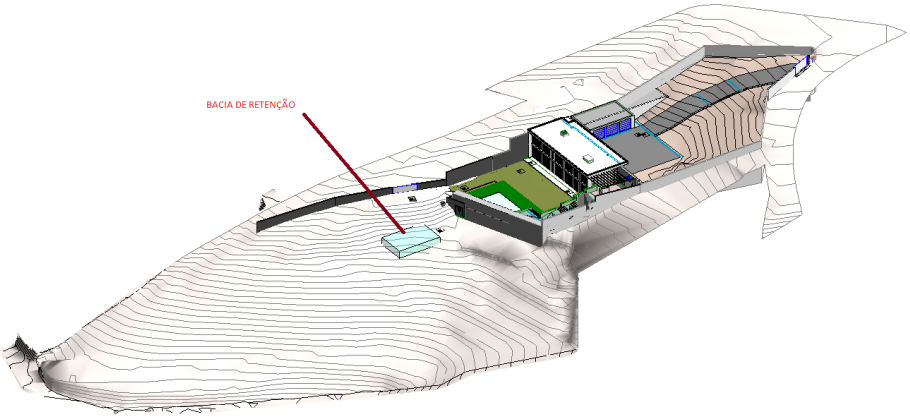


Figura 5.3- Caso de estudo em Revit

5.2.1.1 MÉTODO DE REGRESSÃO DE PAGAN

O método de Regressão Pagan foi o método escolhido para o desenvolvimento do script em Dynamo. Este método é bastante intuitivo e torna fácil a sua aplicação neste tipo de bacias mais pequenas. A metodologia de cálculo utilizada para o método na elaboração do script em Dynamo foi a mesma que foi utilizada em 4 - Método de Regressão de Pagan.

Definição das zonas permeáveis e impermeáveis

O Script inicia com a definição das áreas permeáveis e impermeáveis do projeto. Para o caso em estudo essa divisão foi feita segundo a Figura 5.4.

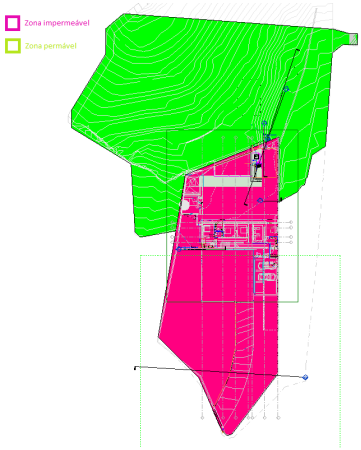


Figura 5.4- Área permeável e impermeável do caso de estudo em Revit

Definição dos caudais correspondentes às zonas permeáveis e impermeáveis

Após definir a área correspondente a cada uma das zonas, prosseguiu-se para o cálculo do caudal em cada zona considerando um coeficiente de escoamento de 0.3 para a zona permeável e 1.0 para a zona impermeável, tal como representado nos scripts da Figura 5.5 e Figura 5.6.

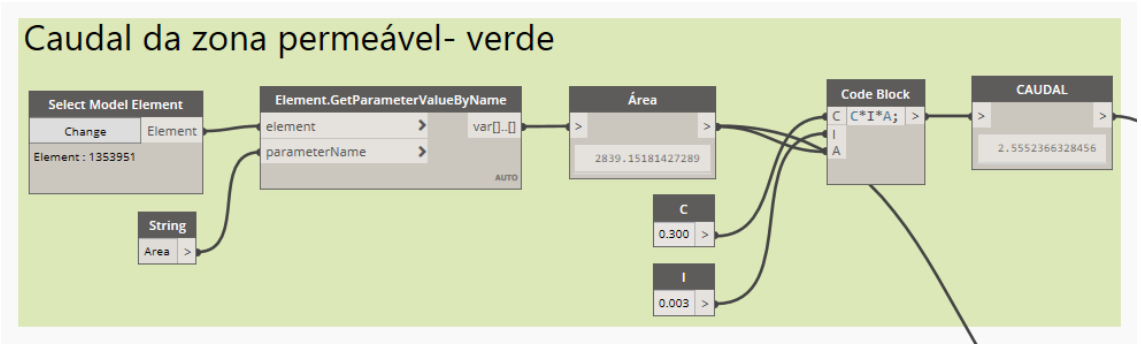


Figura 5.5- Script em Dynamo do caudal correspondente à zona permeável [m³]

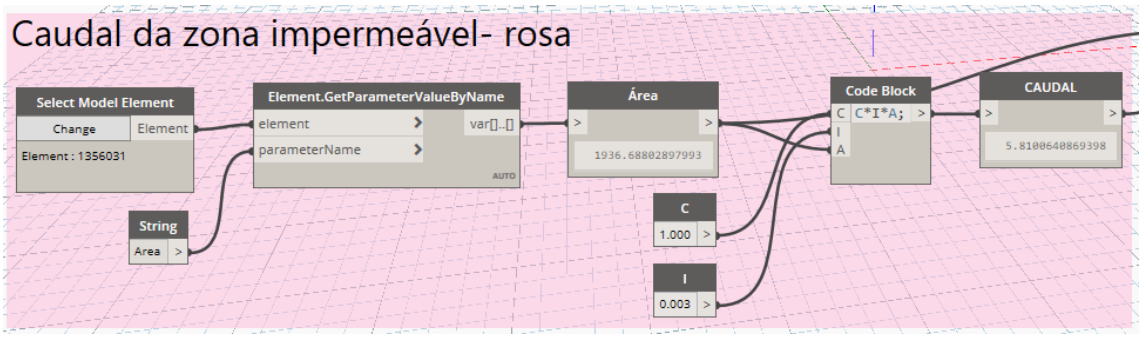


Figura 5.6- Script em Dynamo do caudal correspondente à zona impermeável [m³]

Cálculo do volume máximo da bacia [m³]

Nesta fase o volume da bacia é calculado, mas não tem em conta as condições de descarga da bacia, tal como representado no script da Figura 5.7.

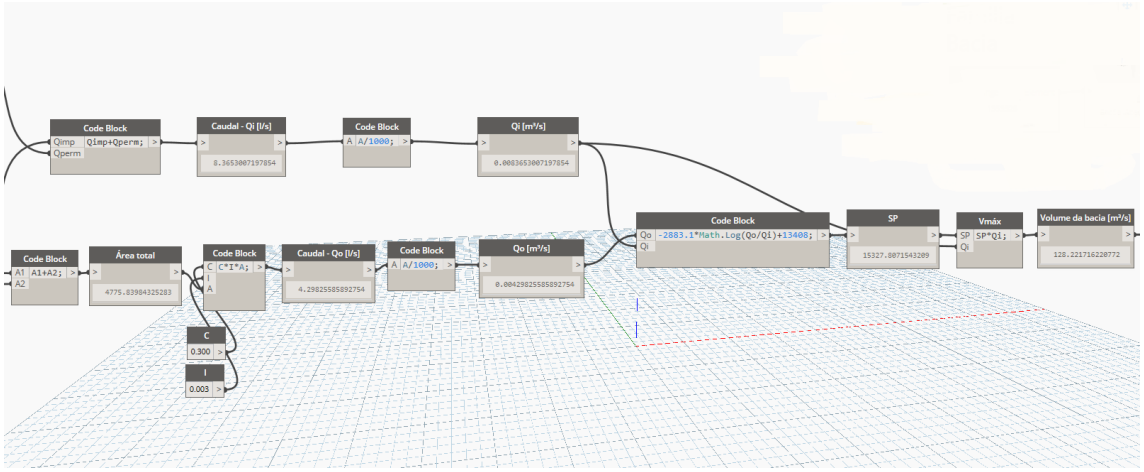


Figura 5.7- Script em Dynamo do cálculo do volume máximo da bacia sem considerar as condições de descarga [m³]

Cálculo das dimensões da bacia [comprimento x largura]

As dimensões da bacia são determinadas com base no processo iterativo no Dynamo, ou seja, vamos alterando as dimensões da mesma, que correspondem a uma determinada área, até que o resultado final (altura de água na bacia) seja legítimo de se considerar, tal como a Figura 5.8.

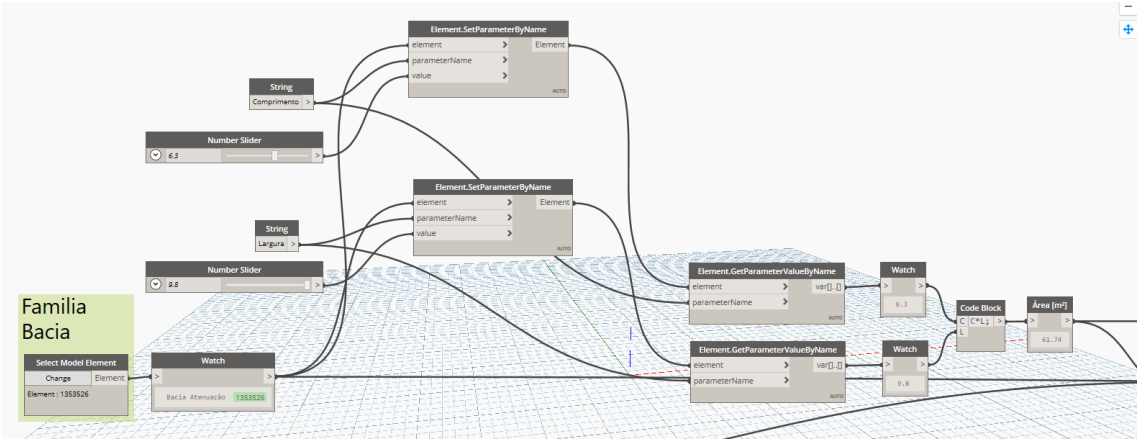


Figura 5.8- Script do cálculo das simensões da bacia

Cálculo do volume descarregado [m³]

Neste momento, já existe uma altura de água correspondente à área e ao volume determinados anteriormente que vai servir de base ao cálculo do volume descarregado [m³], conforme o representado na Figura 5.9.

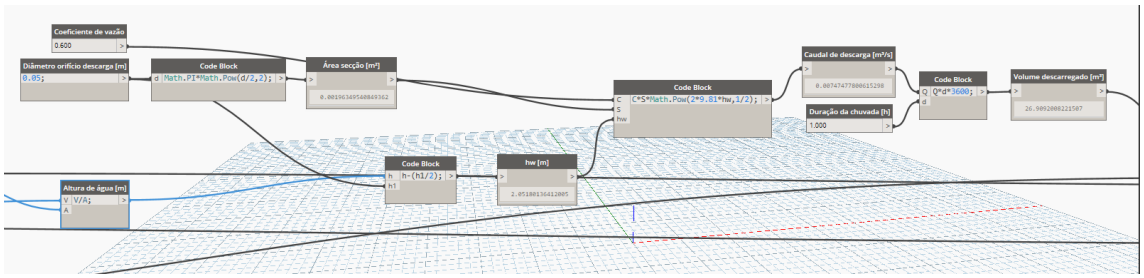


Figura 5.9- Script em Dynamo do cálculo do volume descarregado [m³]

Volume final da bacia [m³]

É determinado o volume final da bacia tendo em conta o volume anteriormente calculado e o volume descarregado, dado origem a uma nova altura de água que é a final, representada na Figura 5.10.

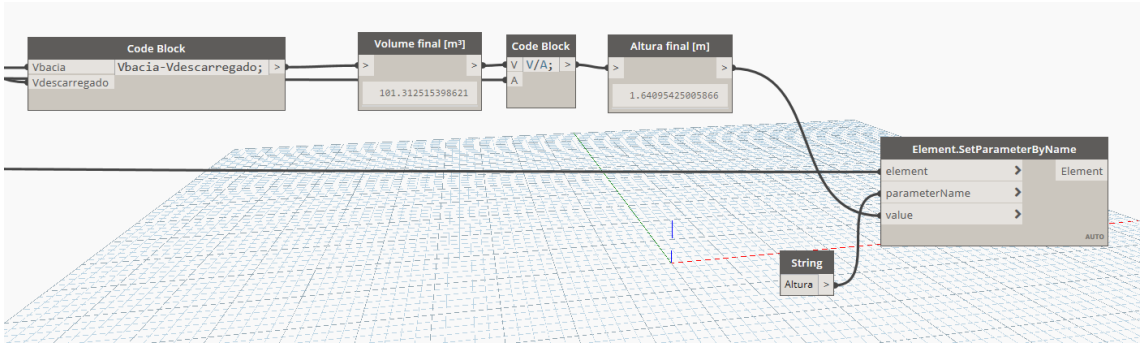


Figura 5.10- Script em Dynamo do volume final da bacia [m³]

5.2.1.2 CONCLUSÃO - RESULTADOS

Assim sendo, a criação deste script em Dynamo simplificou muito o processo de cálculo das bacias de retenção em edifícios, além de tornar o processo muito mais dinâmico, facilita o estudo das diferentes soluções.

Para o caso em estudo, a dinâmica seria apenas esta:

<u>1º Selecionar a área permeável e impermeável no Revit</u>

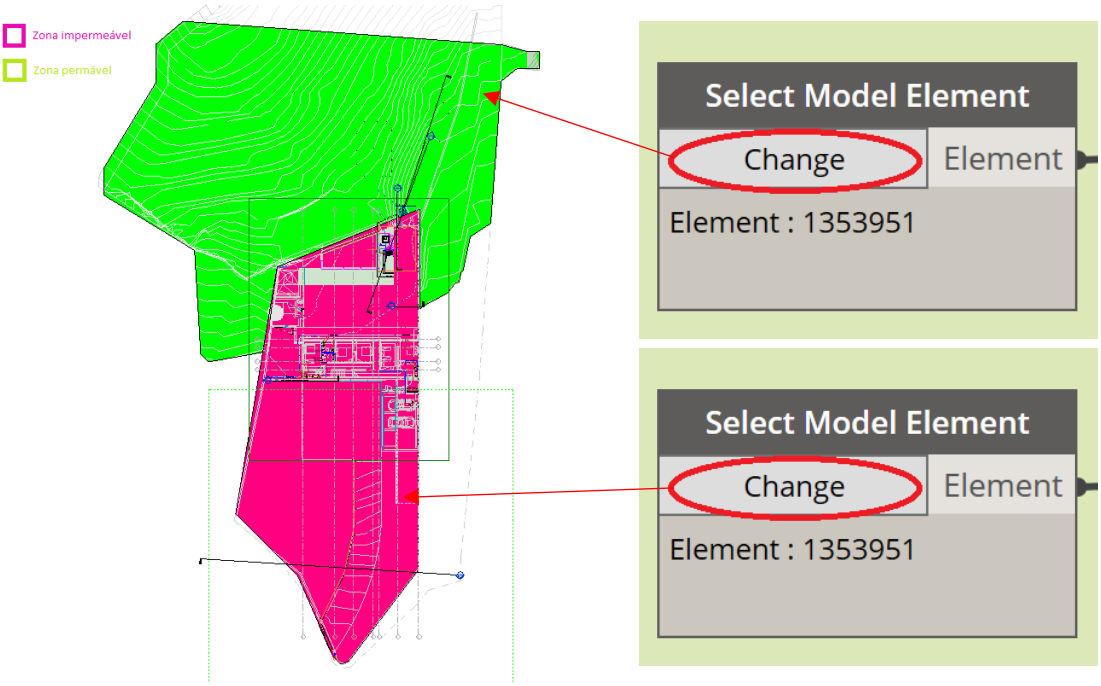


Figura 5.11- Processo de seleção das áreas em Dynamo

2º Definir o coeficiente de escoamento e a intensidade de precipitação para o projeto em causa

Figura 5.12- Definição dos coeficientes de escoamento e intensidade de precipitação em Dynamo

3º Ajustar o comprimento e largura conforme o desejado

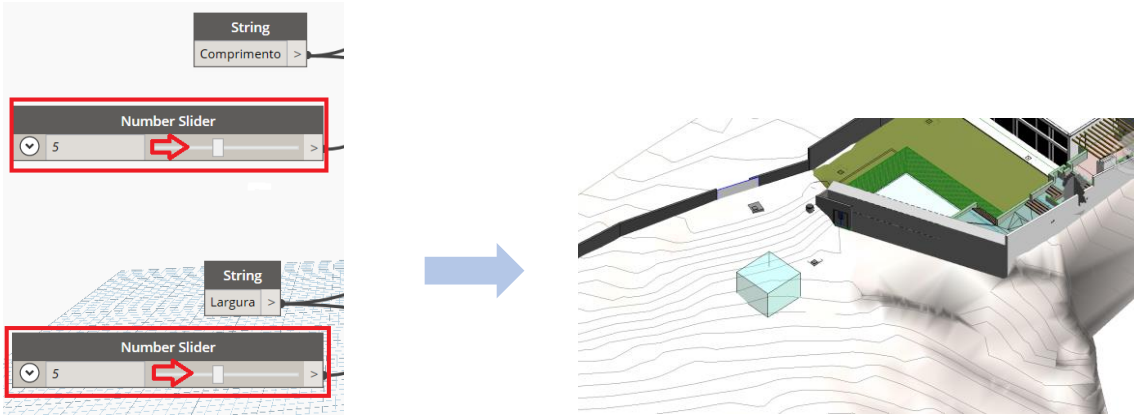


Figura 5.13 – Representação da dinâmica de estudo em Dynamo

Alterar o comprimento e largura da bacia no Dynamo conforme o desejado.

As dimensões aparecem de forma real no modelo em Revit.

4º Obtem-se a altura final da bacia para as dimensões (comprimento e largura) escolhidas

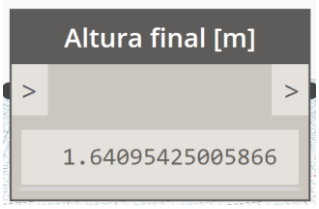


Figura 5.14- Altura final da bacia em Dynamo

Por exemplo, para as seguintes dimensões a disposição da bacia seria a seguinte:

- 10m de comprimento x 5m de largura

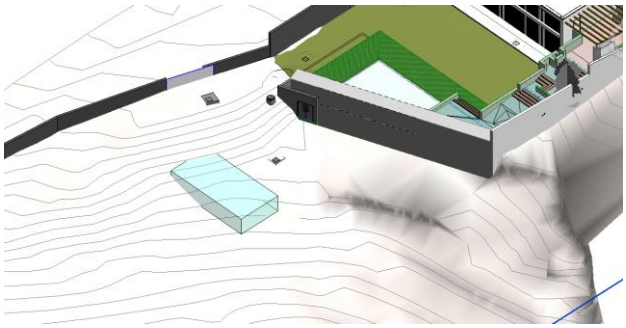


Figura 5.15- Representação das dimensões da bacia em Revit [10x5m]

- 2m de comprimento x 3m de largura

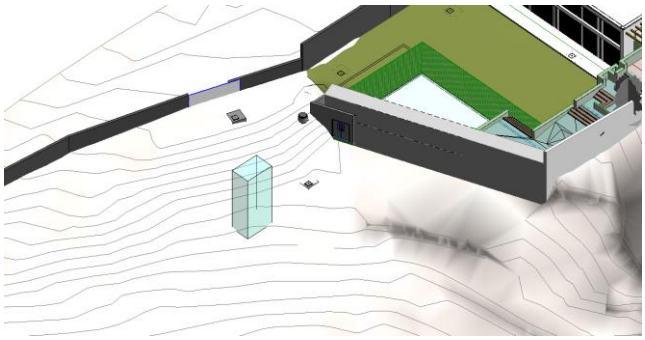


Figura 5.16- Representação das dimensões da bacia em Revit [2x3m]

É de salientar que estas dimensões devem ser sempre ajustadas de forma a que a altura de água na bacia tenha um valor coerente e dentro da lógica real.

6

CONCLUSÃO

6.1 CONCLUSÕES

Terminado este trabalho é possível concluir que os objetivos iniciais foram cumpridos. A utilização das ferramentas do BIM, como complemento de desenvolvimento desta tese, permitiu o desenvolvimento de capacidades profissionais relevantes para a integração da autora na vida profissional.

Primeiramente, a compreensão das Redes de Drenagem de Águas Pluviais desenvolvida ao longo do capítulo 2, permitiu perceber a dinâmica da modelação e dimensionamento das redes. Desta forma, a compreensão da implementação dos órgãos de atenuação tornou-se mais fácil.

Apesar de existir, atualmente, uma enorme variedade de órgãos de atenuação, é necessário selecionar aqueles que melhor se adequam aos projetos em estudo. O dimensionamento dos mesmos surge numa próxima fase, sendo que para esta tese, apenas se focou no mais utilizado (bacia de retenção) para o caso em estudo. A compreensão dos passos de dimensionamento nos diferentes métodos de dimensionamento realizou-se sem grandes dificuldades. Embora o objetivo fosse perceber a aplicabilidade dos métodos, surgiram algumas dificuldades na comparação dos mesmos pois utilizam metodologias de cálculo muito diferentes

Para o dimensionamento dos órgãos de atenuação, procurou-se comparar duas metodologias de dimensionamento, uma mais antiga, utilizando as folhas de cálculo em *Excel*, e outra mais recente, utilizado as ferramentas da automação em *Dynamo*. O objetivo principal, que seria "provar" que a utilização do *Dynamo* neste tipo de princípios simplifica muito o processo, foi cumprido. Desenvolveram-se os scripts em *Dynamo* com o método que melhor se adequou ao caso em estudo. Apesar de inicialmente, a elaboração de *scripts* em *Dynamo* exigir uma maior dificuldade no seu desenvolvimento, a longo prazo permite poupar muito tempo, permitindo chegar rapidamente ao volume de armazenamento e, em conjunto com o *REVIT*, localizar a melhor localização para os objetos em estudo (no caso em estudo, a bacia de retenção).

6.2 CONSIDERAÇÕES FUTURAS

A elaboração desta tese permitiu comprovar que a utilização das ferramentas do BIM, na elaboração dos projetos, reduz os erros, o tempo e os conflitos entre as diferentes fases que

envolvem os projetistas. Assim sendo, a utilização do *BIM* e das ferramentas do *Revit* na elaboração dos projetos numa fase inicial deve ser a primeira escolha em detrimentos das outras ferramentas como, por exemplo, as do *CAD*, que atualmente ainda são as que mais se utilizam.

O facto de os projetos serem desenvolvidos em *REVIT*, permite que os dimensionamentos de muitos sistemas sejam feitos no mesmo, anulando a utilização das famosas folhas de Excel, passando a um processo automático. Os scripts em *Dynamo* permitem criar situações desejáveis capaz de simular situações a tempo real, aumentando a perceção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(TRCA), T. a. (Março de 2018). *Sustainable Technologies.* Obtido de Blue Roofs: https://sustainabletechnologies.ca/app/uploads/2018/06/Opportunities-for-Building-integrated-LID-1.pdf

A. E. (13 de fevereiro de 2020). *Drenagem urbana enchentes.* Obtido de Allevant Engenharia: https://allevant.com.br/os-impactos-causados-pela-excessiva-impermeabilizacao-do-solo/

abg - creative geosynthetic engineering. (s.d.). *abg - Creative geosynthetic engineering.* Obtido de https://www.rbkc.gov.uk/idoxWAM/doc/Document%20Approved-2210964.pdf?extension=.pdf&id=2210964&location=Volume2&contentType=application/pdf&pageCount=1

AICCOPN. (janeiro de 2021). *Comunicação.* Obtido de AICCOPN: https://www.aiccopn.pt/archive/doc/Conjuntura_Janeiro_2021.pdf

Akan, A. O., & Houghtalen, R. J. (2003). *Urban Hydrology, Hydraulics and Stormwater Quality.* Wiley.

Alves, R. V. (Julho de 2010). Uso Eficiente da Água em Edifícios. Porto: FEUP.

Bauder. (s.d.). Obtido de Blue Roofs.

Bauder. (2021). *Blue Roofs.* Obtido de https://www.bauder.co.uk/technical-centre/downloads/system-brochures/blue-roof-systems.pdf

Bauder. (s.d.). *Casa/Telhados Azuis.* Obtido de Bauder: https://www.bauder.co.uk/blue-roofs

BIM SOURCE, L. (2021). Obtido de https://www.bimsource.pt/?fbclid=IwAR2AL8Wd6EEa8-pQUBiZ2z0bANuK1-1iSf34KezqjLrddxeG8sddixO-mcs

Cardoso, A., Maia, B., Santos, D., Neves, J., & Martins, M. (2012/13). Obtido de FEUP: https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/bestof/12_13/files/REL_12MC08_01.PDF

Correia, C. M. (maio de 2007). Boas Práticas para Ocupação do Solo, no respeito pelos Recursos Hídricos.

Direção de Serviços de Avaliações. (maio de 2011). *Manueal de Avaliação de Prédios Urbanos.* Obtido de Finanças: file:///C:/Users/marma/Downloads/76780300-Manual-de-Avaliacoes-de-Predios-Urbanos%20(1).pdf

Direção de Serviços e Avaliações. (2011). *Manual de Avaliação de Prédios Urbanos.*

DR 23/95. (23 de 08 de 1995). Obtido de Diário da República n.º 194/1995, Série I-B de 1995-08-23: https://dre.pt/pesquisa/-/search/431873/details/maximized

Eastman, C., Teichloz, P., Sacks, R., & Liston , K. (2011). *BIM Handbook.* Chichester: John Wiley and Sons Ltd.

EPE. (2021). *LOD: trabalhando BIM em alto nível.* Obtido de https://epe.ufc.br/index.php/blog/19-lod-trabalhando-bim-em-alto-nivel

Geraldes, P. D. (novembro de 2018). *Instituto Superior de Engenharia do Porto.* Obtido de file:///C:/Users/marma/Downloads/DM_PedroGeraldes_2018_MEC.pdf

Guimarães, M. d. (18 de fevereiro de 2014). Bacia de retenção de água começa a ser construída a partir de 2ª feira. *Evento/Notícias.*

Jornal da Construção. (fevereiro de 2020). ACO apresenta Stormbrixx para atenuar inundações. *Jornal da Construção*. Obtido de http://www.jornaldaconstrucao.pt/index.php?id=9&n=7039

Lencastre, A., & Franco, F. M. (1992). *Lições de Hidrologia.* Lisboa: Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Lima, H. M., Raminhos, C., & Silva, V. V. (2008). *Controlo do Escoamento e Medição de Caudais: critérios dedimensionamento de descarregadores em canais, colectores e pequenas represas*. Portugal: Universidade do Minho.

Lopes, T. J. (setembro de 2020). Modelação BIM de Redes Prediais de Drenagem Adaptada ao Processo de Licenciamento de Edifícios. Porto: FEUP.

Lourenço, R. (dezembro de 2014). *Instituto Superior de Engenharia de Coimbra* . Obtido de https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/14071/1/Rossana-Lourenco.pdf

Mano, R. E. (fevereiro de 2008). Estudo de Bacias de Retenção - Como solução para situações crescentes de urbanização. Porto: FEUP. Obtido de FEUP.

Martins, F. J. (Março de 2000). Obtido de Universidade de Coimbra - Faculdade de Ciências e Tecnologia: https://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/482/1/Tese%20-%20Mestrado.pdf

Martins, J. P., & Monteiro, A. (2011). Building Information Modeling (BIM) - teoria e aplicação. Em *Atas de Conferência Internacional.* Covilhã: International Conference on Engineering.

Matias, M. G. (março de 2006). Bacias de Retenção- Estudo dos Métodos de Dimensionamento. Porto: FEUP.

Ministério das Obras Públicas, T. e. (23 de 08 de 1995). *DRE.* Obtido de Legislação: https://dre.pt/application/conteudo/431873

Padrão, V. M. (janeiro de 2016). Redes de Drenagem de Águas Pluviais. Porto: FEUP.

Pedroso, V. M. (2006). *ITE 31*. Lisboa: LNEC.

Rino, E. J. (outubro de 2011). Sistemas Prediais de Drenagem de Águas Pluviais e Freáticas. Lisboa: Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa.

Stine, D. J. (2018). *Design Integrations Using Autodesk Revit 2019.* SDC Publications.

Sudamérica & Iberia . (s.d.). *Tanques/ Stormbrixx.* Obtido de ACO: https://www.aco.es/pt/tanques/stormbrixx

Teixeira, A. P. (fevereiro de 2018). Aplicação do Bim ao Projeto de Redes Predias de Abastecimento de Água - Desenvolvimento de Ferramentas de Auxílo à Modelação Virtual. Porto: FEUP.

VDOT. (2002). *Drainage Manual.* Virginia Departament of Transportation.

Vieira, I. L. (maio de 2014). Análise de Bacias de Retenção. Madeira: Universidade da Madeira.

ANEXOS

A. Passos para a elaboração do script em Dynamo (Correspondência da área de influência)

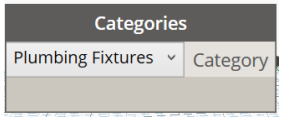


Figura A.1 – Família de ralos

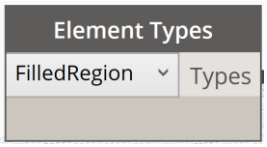


Figura A.2 - Área de influência

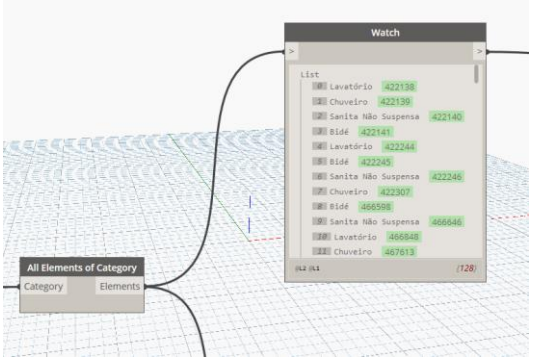


Figura A.3 - Categoria do elemento – lista de todos os "*Plumbing Fixtures*"

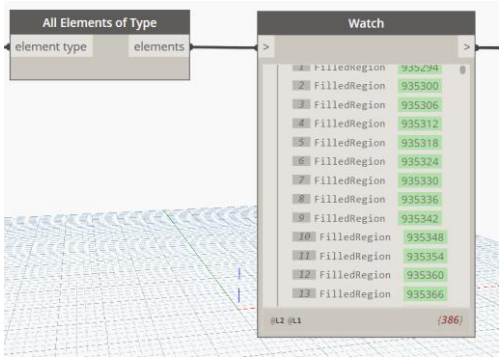


Figura A.4 - Tipo de elemento – lista de todas as "*Filled region*"

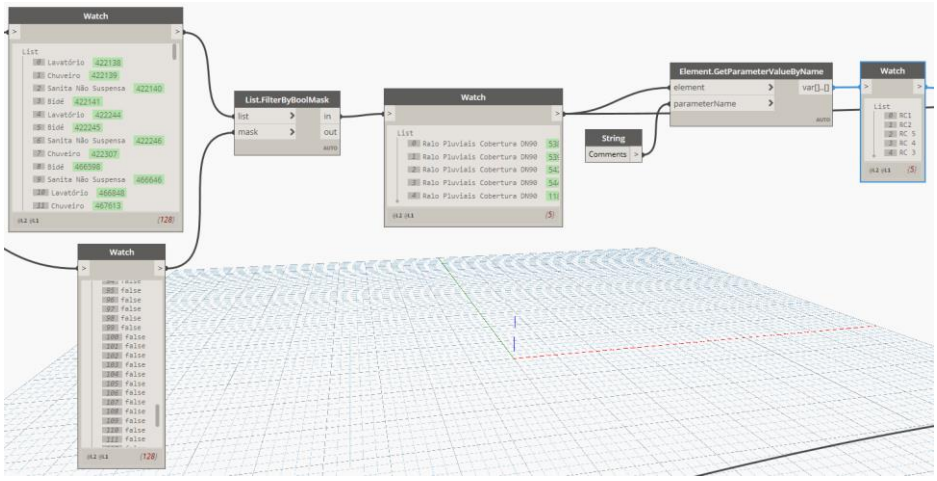


Figura A.5 - Restringir os elementos para aqueles que correspondem aos ralos

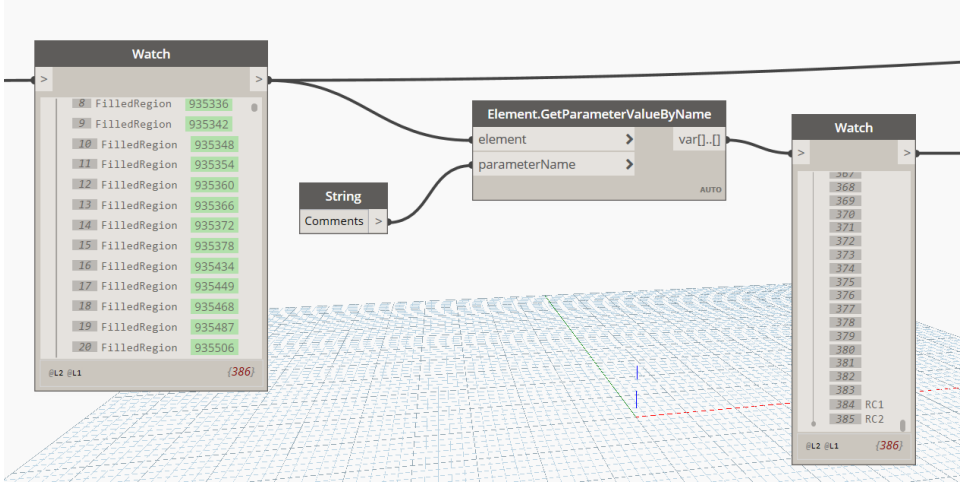


Figura A.6 - Representar uma lista com o conteúdo escrito nos comentários de cada "*Filled Region*"

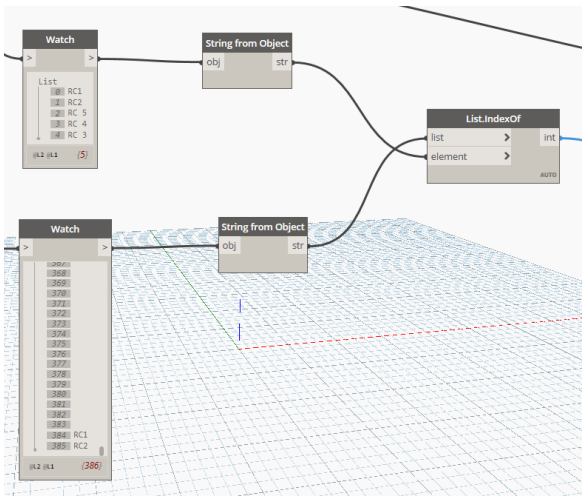


Figura A.7 - Cruzar as duas listas de forma a encontrar a correspondência entre os dois tipos de elementos

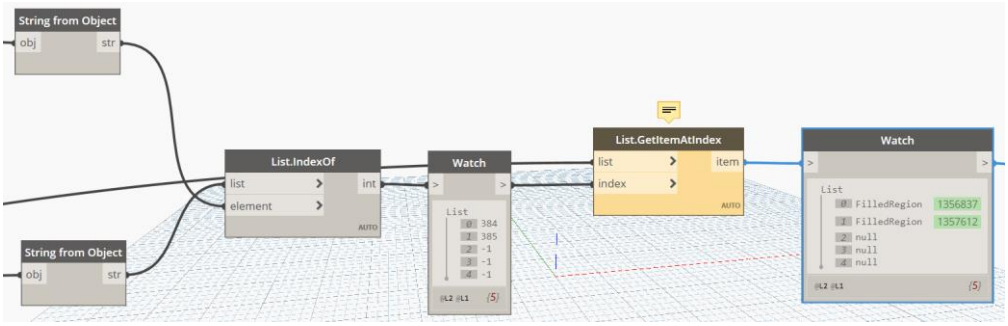


Figura A.8 - Dispor os elementos pelo índice correspondente da lista

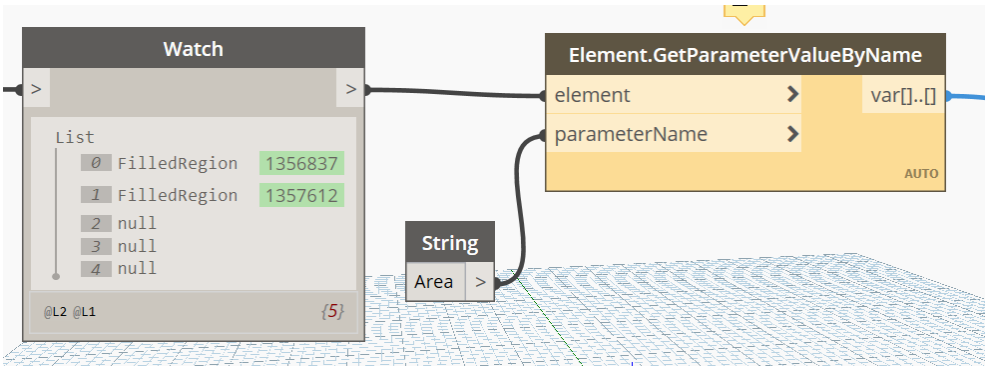


Figura A.9 - Definir a área de influência correspondente a esses índices

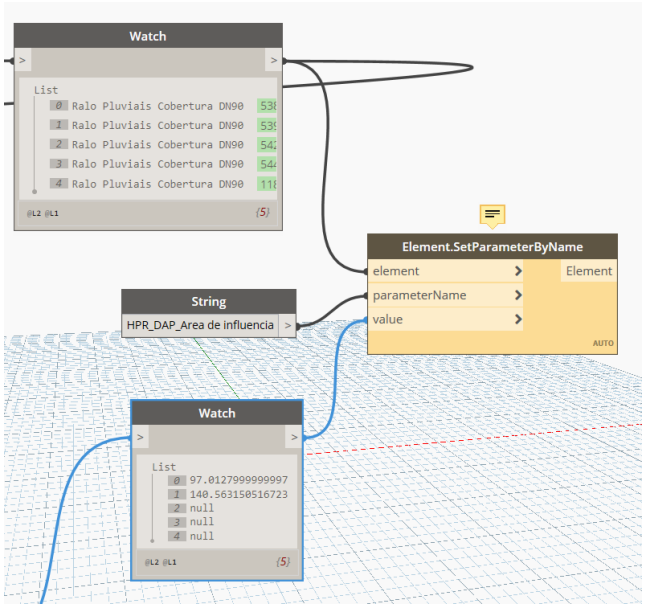


Figura A.10 - Escrever o valor da área de influência nas propriedades do ralo

B. Folha de cálculo para o Método do Hidrograma Triangular Simplificado

Cálculo de tc	
L [m] =	
CN =	
i [%] =	
tr [h] =	
tc [h] =	

Quadro B.1. - Cálculo do tempo de concentração, tc [min]

Cálculo do volume	
Tb [s] =	
Qi [l/s] =	
Qo [l/s] =	
V [m³] =	

Quadro B.2 – Cálculo do volume de armazenamento da bacia [m³]

Cálculo auxiliar – tendo em conta o volume descarregado	
Altura de água máxima na bacia [m]:	
Hw [m]:	
Caudal de descarga [m³/s]:	
Volume de descarga [m³]:	
Volume total [m³]:	

Quadro B.3- Cálculo auxiliar tendo em conta o volume descarregado

Sendo T_b [s], Q_i [l/s] e Q_o [l/s] tal como indicado na equação (3.1).

C. Folha de cálculo para o Método Sequencial

Dados:		
Área de influência da bacia de retenção, A1 [m²] =		
Área da urbanização em estudo, A2 [m²] =		
Coeficiente de escoamento global da bacia, Cm [] =		
Coeficiente de escoamento da área urbanizada C1 []=		
Coeficiente de ajustamento K [] =		
Tempo de concentração da bacia, tc [min] =		
Tempo de duração da chuvada, td [min] =		
Parâmetros referentes às curvas I-D-F	a [] =	
	b [] =	
Descarregador = 1; Orifício = 0; Descarregador + Orifício = 2		
Altura da conduta [m] =		
Área da secção transversal da conduta [m²]=		
Coeficiente de vazão =		

Quadro C.1 - Dados iniciais correspondente as características físicas e hidrológicas da área de influência da bacia

Tabela de cálculo automático								
Tempo [min]	Área [m²]	Q Afluente [m³/s]	Cálculo Auxiliar Hw-h_1/2 [m]	Q efluente [m³/min]	Q Afluente – Q efluente [m³/s]	V unitário [m³]	V Acumulado [m³]	Hw [m]
0				0				
(td + tc)								

Quadro C.2 – Tabela de cálculo automático

D. Folha de cálculo para o Método de Regressão de Pagan

A. Cálculo do parâmetro SP	
Qo [m³/s]=	
Qi [m³/s]=	
SP [s] =	
B. Cálculo do Volume máximo	
Vmáx. [m³]=	

Quadro D.1 - Cálculo do volume máximo segundo o Método de Regressão de Pagan [m³]

Cálculo auxiliar – tendo em conta o volume descarregado	
Altura de água máxima na bacia [m]:	
Hw [m]:	
Caudal de descarga [m³/s]:	
Volume de descarga [m³]:	
Volume total [m³]:	

Quadro D.2 – Cálculo auxiliar tendo em conta o volume descarregado

E. Folha de cálculo para o Método Holandês

Cálculo do volume útil em [m³]									
Região pluviométrica									
T [anos]									
a									
b									
t [min]	5	10	15	20	25	30	35	40	45
I [l/s/ha]									
A [ha]									
C []									
q [m³/s]									
qs [l/m²/min]									
V [m³]									

Quadro E.1 - Cálculo do Volume útil em [m³] segundo o Método Holandês

Cálculo do volume final da bacia									
Hw [m]									
Caudal de descarga da bacia [l/s]									
Volume final da bacia [m³]									
Volume total descarregado [m³]									
Área da bacia de retenção [m²]									
Profundidade da bacia de retenção [m]									

Quadro E.2 - Cálculo do volume final da bacia segundo o Método Holandês [m³]

F. Plantas do projeto de Drenagem de Águas Pluviais do caso de estudo

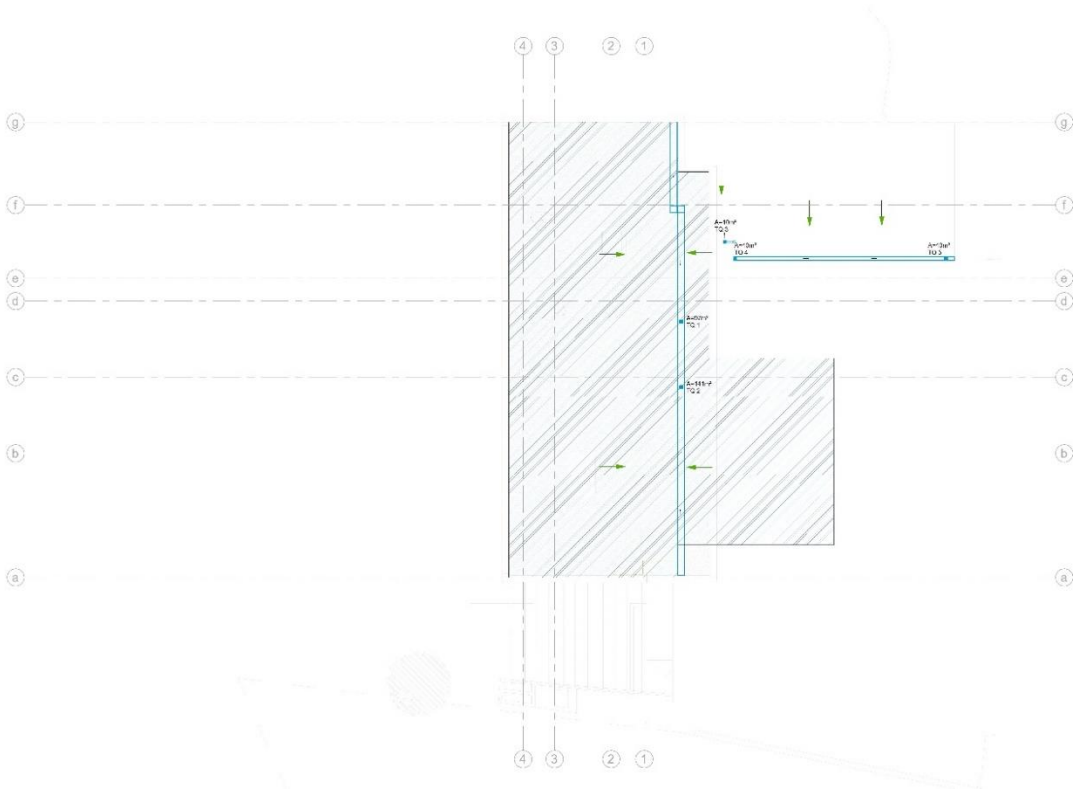


Figura F.1 - Planta da cobertura (*Revit)*

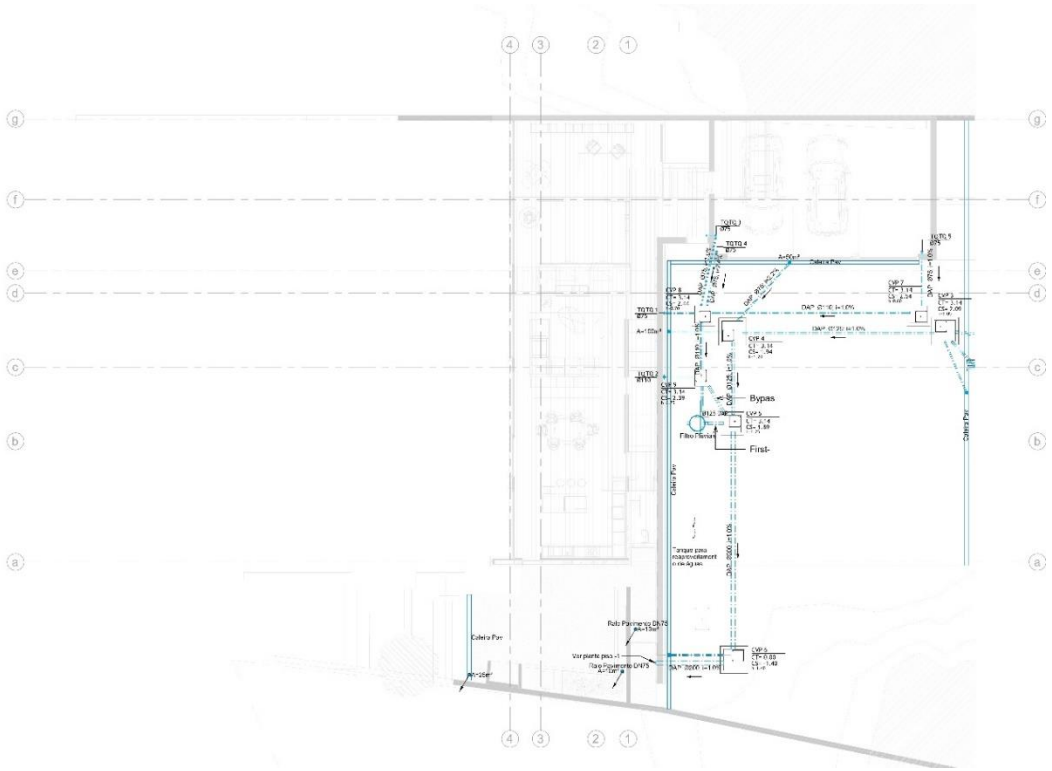


Figura F.2 – Planta piso 0 (*Revit*)

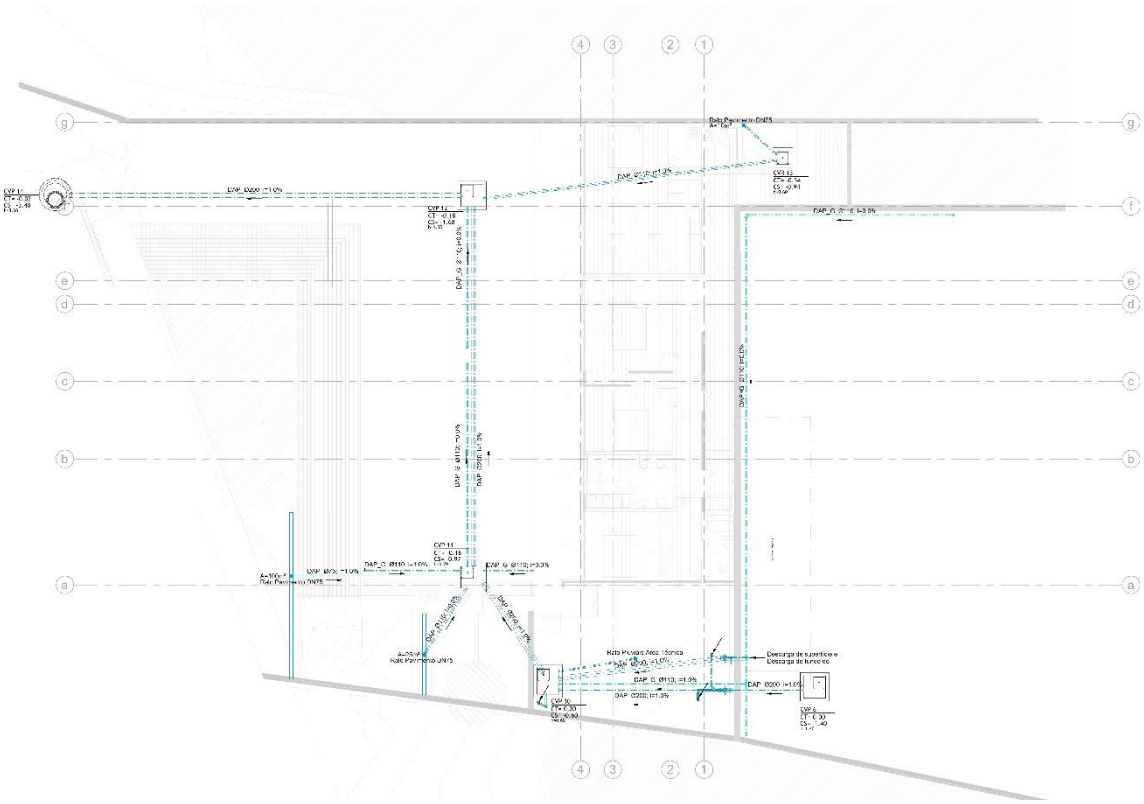


Figura F.3 – Planta piso 1 (*Revit*)

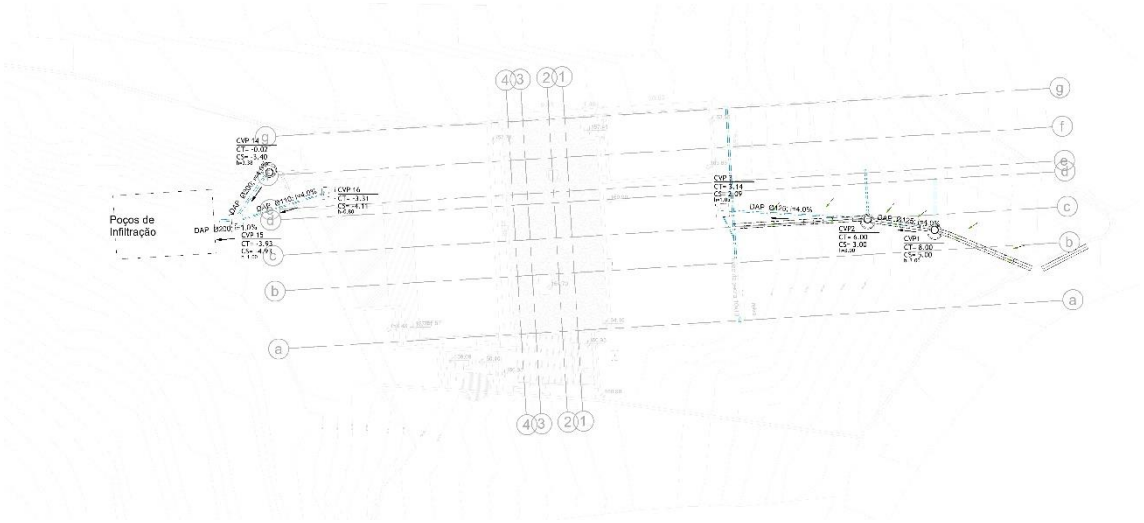


Figura F.4- Planta de implantação (*Revit*)

G. Determinação do número de escoamento, CN

O número de escoamento, CN, relaciona e descreve o comportamento hidrológico dos vários tipos de solo, a sua utilização e as condições de superfície (Correia, 2007). Pode ser um valor compreendido entre 0 e 100, representando, respetivamente, um solo com elevada condutividade hidráulica ou totalmente impermeáveis. (Vieira, 2014)

O Soil Conservation Service, classifica os solos quanto á tipologia hidrológica em quatro grupos: (Lencastre & Franco, 1992)

- Tipo A - baixo potencial de escoamento superficial, caracterizam-se pela elevada capacidade de infiltração mesmo quando completamente humedecidos. Incluem-se neste tipo principalmente areias profundas com drenagem boa ou excessiva;
- Tipo B -potencial de escoamento superficial abaixo da média, caracterizam-se por intensidades de infiltração moderadas quando completamente humedecidos. Incluem-se neste tipo, solos medianamente profundos, com textura moderadamente fina e moderadamente grosseira, e medianamente drenadas;
- Tipo C - potencial de escoamento superficial acima da média), caracterizam-se por baixas intensidades de infiltração quando totalmente humedecidos. Este tipo corresponde essencialmente a solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina;
- Tipo D - potencial de escoamento superficial elevado), caracterizam-se por intensidades de infiltração muito baixas quando completamente humedecidos. São exemplo deste tipo, solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade.

O Quadro G.1 foi o utilizado para este trabalho e representa os números de escoamento (CN), para os diferentes tipos de solo e para as condições de humidade AMC-II, ou seja, situação média na época de cheias (a precipitação registada nos últimos cinco dias encontra-se entre 15mm e 40mm, e para as diferentes utilizações do solo segundo o Soil Conservation Service.

Utilização ou cobertura do solo		Tipo de solo			
		A	B	C	D
Terras lavradas:					
– não cultivadas		72	81	88	91
– cultivadas		62	71	78	81
Pastagens:					
– pobres		68	79	86	89
– boas		39	61	74	80
Prados em boas condições		30	58	71	78
Florestas:					
– pouco densas		45	66	77	83
– densas		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, campos de golfe, cemitérios, etc.:					
– em boas condições: cobertura com 75% ou mais de relva		39	61	74	80
– fracas condições: cobertura com 50% a 75% de relva		49	69	79	84
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Zonas industriais (72% de impermeabilização)		81	88	91	93
Zonas residenciais:					
Tamanho dos lotes (média) (m^2)	Imper. (média) (%)				
500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Lotes de parques pavimentados, telhados, passeios, etc.		98	98	98	98
Ruas, estradas:					
– pavimentadas, com sarjetas e coletores		98	98	98	98
– empedradas		76	85	89	91
– Terra batida		72	82	87	89

Quadro G.1 - Valor do número de escoamento, CN, em bacias urbanas e suburbanas para as condições de humidade AMC-II e diferentes utilizações do sol. (Lencastre & Franco, 1992)

H. Regiões pluviométricas

Região Pluviométrica A – Inclui as áreas não referidas em B e em C – Curvas IDF Lisboa.

Região Pluviométrica B – Inclui concelhos de Alfândega da Fé, Alijó, Almeida, Boticas, Bragança, Carrazeda de Ansiães, Chaves, Figueira de Castelo Rodrigo, Freixo de espada á Cinta, Macedo de Cavaleiros, Meda, Mirando do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Murça, Penedono, Pinhel, Ribeira de Pena, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, São João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço, Torre de Moncorvo, Trancoso, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vila Nova de Foz Côa, Vila Real, Vimioso e Vinhais.

Região Pluviométrica C – Inclui os concelhos das Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e do Continente, os concelhos de Guarda, Manteigas, Moimenta da Beira, Sabugal e Tarouca, e as áreas situada a altitude superior a 700 metros dos concelhos de Aguiar da Beira, Amarante, Arcos de Valdevez, Arganil, Arouca, Castanheira de Pera, Castro Daire, Celorico da Beira, Cinfães, Covilhã, Fundão, Góis, Gouveia, Lamego, Marvão, Melgaço, Oleiros, Pampilhosa da Serra, Ponte da Barca, Resende, Seia, S. Pedro do Sul, Terras do Bouro, Tondela, Vale de Cambra, Vila Nova de Paiva e Vouzela.