



**UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO**

**MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Medidas de redução do escoamento superficial no campus da UTAD**

**2015/2016**

Orientadores: Ana Cristina Ribeiro Matos Coutinho

Co-orientador: Isabel Maria Assunção de Mata Oliveira Bentes



**UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO**

**MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Medidas de redução do escoamento superficial no campus da UTAD**

Trabalho realizado por:

Joana Patrícia Lopes Poço

Nº 33933

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha orientadora, Professora Cristina Matos e co-orientadora, Professora Isabel Bentes, pela sempre disponibilidade, ensinamentos e todos conselhos recebidos que contribuíram para a realização desta dissertação.

Queria agradecer à minha família, pais e irmão, por sempre acreditarem em mim e que conseguiria chegar ao fim desta etapa tão crucial da minha vida. À minha mãe, pela paciência e ombro amigo nas horas mais difíceis neste percurso. Ao meu pai pela sempre ajuda em muitos trabalhos durante estes anos a estudar engenharia. O meu muito, muito obrigada!

Ao Tiago, pelo apoio incondicional em tudo, porque sempre me acompanhou e apoiou ao longo deste ano de dissertação e não só.

A todos os meus grandes amigos de coração de Torre de Moncorvo e de Vila Real, que conheci neste percurso académico, pela amizade, companheirismo, pelos bons momentos vividos e pela ajuda prestada sempre que necessário. Em especial à Cristiana Fevereiro, Lurdes Pinto e Miguel Povo pela intensa ajuda, e também disponibilidade nas horas de maior dificuldade na concretização desta dissertação. A todos, muitíssimo obrigada.

## **Resumo**

A crescente ocupação urbana tem vindo a conduzir a um aumento das áreas impermeabilizadas que por sua vez conduzem ao aumento do volume de escoamento superficial, levando assim à ocorrência de cheias. A consequência direta deste fenómeno é a falta de capacidade por parte dos sistemas de drenagem face aos novos caudais gerados. Nesta dissertação, estudaram-se medidas para prevenir este tipo de situações, especificamente em coberturas, estacionamento público, zona pedonal e circulação automóvel no campus da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Estas medidas passam por implementação de coberturas ajardinadas, pavimentos porosos, sistemas de biorretenção, entre outros, pois, são medidas que favorecem a capacidade de retenção/armazenamento da água pluvial que se traduz na redução dos caudais pluviais e, consequentemente, no risco de inundação.

Durante esta dissertação, ficou demonstrado que embora estas tecnologias estejam frequentemente relacionadas com a preservação e melhoria da qualidade do meio ambiente, essa não é a única razão para a sua utilização. Todas elas atuam em diversos campos, nomeadamente, no ecológico, no ambiental, no económico, no da saúde e no da sustentabilidade. O que ficou demonstrado é que os benefícios existem, pelo menos no que diz respeito à retenção de parte das águas pluviais de modo a pôr fim às cheias urbanas.

Foram ainda estimados os custos associados à implementação de algumas destas soluções a nível do campus.

**Palavras-chave:** Escoamento superficial, impermeabilização, soluções construtivas.

**Abstract**

The growth of urbanization has been leading to an increase of impermeable areas which subsequently cause an increase of surface runoff volumes, leading ultimately to floods. The direct consequence of this phenomena is a capacity deficiency of the draining systems due to these new water flows. On this dissertation, methods were investigated in order to prevent this kind of events, specifically on roofs, parking lots, pedestrian zones and motor traffic areas on Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) campus. These methods comprehend green roof implementation, porous pavements, bio retention systems, among others, since these methods improve retention/storing capacity of stormwater which translate in the reduction of stormwater and, consequently, flood risk mitigation.

During this dissertation was established that although these technologies are frequently related to environment preservation, that is not the only reason for their implementation. All of them are applicable on several fields, namely, ecological, environmental, economical, health and sustainability. What were proved is that the benefits exist, at least concerning retention of stormwater to stop urban floods.

The costs related to the implementation of some of this measures on campus were also estimated.

**Key Words:** Surface Runoff, waterproofing, constructive solutions

# 1 ÍNDICE

1	ÍNDICE.....	7
1	ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
2	ÍNDICE DE TABELAS .....	12
3	ÍNDICE DE QUADROS.....	15
1	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....	16
2	MEDIDAS DE REDUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO.....	19
2.1.	Valas revestidas com coberto vegetal .....	20
2.2.	Bacias de retenção.....	22
2.3.	Trincheira de infiltração .....	27
2.4.	Pavimento permeável.....	29
2.5.	Bacias de infiltração.....	31
2.6.	Faixas filtrantes .....	32
2.7.	Caldeiras.....	33
2.8.	Poço absorvente ou de infiltração .....	34
2.9.	Sistemas de biorretenção.....	36
2.10.	Coberturas ajardinadas .....	38
3.	COEFICIENTES DE ESCOAMENTO.....	45
4	CÁLCULO DO CAUDAL PLUVIAL DE ESCORRÊNCIA.....	58
4.1.	Método racional .....	58
4.1.1.	Tempo de retorno .....	59

---

4.1.2. Tempo de concentração .....	59
4.1.3. Intensidade de precipitação .....	60
4.2. Método racional generalizado .....	62
5. CASO DE ESTUDO – CAMPUS DA UTAD .....	65
5.1. Localização e descrição do campus .....	65
5.2. Metodologia .....	66
5.3. Apresentação dos resultados .....	67
.....	68
5.3.1. Coberturas.....	69
5.3.2. Estacionamento público.....	71
5.3.3. Zona pedonal .....	75
5.3.4. Circulação automóvel (arruamentos) .....	81
5.4. Análise e discussão dos resultados.....	85
4. ORÇAMENTAÇÃO.....	87
4.1. Coberturas .....	87
4.2. Estacionamento público .....	87
4.3. Zona Pedonal.....	89
4.4. Circulação automóvel.....	90
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHO FUTURO .....	91
BIBLIOGRAFIA .....	93

## 1 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Balanço hidrológico antes da urbanização (Fonte: Swartz e Belan, 2010)....	16
Figura 2 - Balanço hidrológico depois da urbanização (Fonte: Swartz e Belan, 2010) .	17
Figura 3 - Hidrograma de cheia (Fonte: Portela, 2005/2006).....	19
Figura 4 - Aspeto de uma vala revestida com coberto vegetal (Fonte: Padrão, 2016) ...	21
Figura 5 - Exemplo de uma vala revestida com coberto vegetal (Fonte: Araújo, 2013)	21
Figura 6 - Pormenores de uma vala revestida com coberto vegetal (Fonte: Auckland council).....	21
Figura 7 - Exemplo de uma bacia de retenção (Fonte: Lourenço, 2014).....	23
Figura 8 - Perfil transversal de uma bacia seca (Fonte: Matias, 2006).....	23
Figura 9 - Exemplo de uma bacia seca em França (Fonte: STU, 1994 in Matias, 2006)	24
Figura 10 - Perfil transversal de uma bacia de retenção com nível de água permanente (Fonte: Matias, 2006) .....	24
Figura 11 - Exemplo de uma bacia de retenção com água permanente (Fonte: STU, 1994 in Matias 2006).....	25
Figura 12 - Desenho esquemático de uma bacia em série (Fonte: Matias, 2006) .....	25
Figura 13 - Desenho esquemático de uma bacia em paralelo (Fonte: Matias, 2006).....	26
Figura 14 - Exemplo de uma trincheira de infiltração (Fonte: Lourenço, 2014).....	27
Figura 15 - Representação esquemática de uma trincheira de infiltração (Fonte: Reis et al. 2008).....	28
Figura 16 - Esquema de um pavimento poroso (Fonte: Padrão, 2016) .....	29
Figura 17 - Pavimento poroso constituído por paralelepípedos de granito (Fonte: Santos, 2010).....	30

---

Figura 18 - Pavimento poroso composto por blocos de betão com orifícios verticais (Fonte: Santos, 2010).....	30
Figura 19 - Pavimento poroso composto por blocos de betão (Fonte: Lourenço, 2014)	30
Figura 20 - Corte esquemático de uma bacia de infiltração (Fonte: Padrão, 2016).....	31
Figura 21 - Esquema de uma faixa filtrante (Fonte: Santos, 2010) .....	32
Figura 22 - Exemplo de uma faixa filtrante inserida em zona urbana (Fonte: Lourenço, 2014).....	33
Figura 23 - Caldeira com sumidouro a montante (Fonte: Swartz e Belan, 2010) .....	34
Figura 24 - Esquema de um poço de infiltração (Fonte: Reis et al. 2008) .....	35
Figura 25 - Exemplo de um poço de infiltração (Fonte: Lucas et al. 2015) .....	35
Figura 26 - Exemplo de um sistema de biorretenção (Fonte: Cobec) .....	36
Figura 27 - Exemplo de um sistema de biorretenção (Fonte: Soluções para cidades) ...	37
Figura 28 - Estrutura básica de um jardim-chuva (Fonte: Melo et al. 2014).....	37
Figura 29 - Esquema tipo de uma cobertura ajardinada (Fonte: Pinto, 2014) .....	39
Figura 30 - Exemplo de uma cobertura intensiva (Fonte: Pinto, 2014).....	40
Figura 31 - Exemplo de uma cobertura extensiva (Fonte: Pinto, 2014).....	41
Figura 32 - Exemplo de uma cobertura semi-intensiva (Fonte: Palha, 2016) .....	42
Figura 33 - Figura ajuda para a determinação do coeficiente de escoamento (Fonte: Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais) .....	53
Figura 34 - Regiões pluviométricas (Fonte: Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais) .....	61
Figura 35 - Cálculo expedito do coeficiente de redução global do método racional generalizado.....	63

---

Figura 36 - Mapa do campus da UTAD .....	66
Figura 37 - Figura representativa de todas as coberturas, estacionamento, zona pedonal e arruamentos existentes no campus da UTAD .....	68
Figura 38 - Figura representativa de todas as coberturas da UTAD.....	69
Figura 39 - Figura representativa das coberturas escolhidas para uma possível intervenção .....	69
Figura 40 - Figura representativa de todo o estacionamento público presente na UTAD .....	72
Figura 41 - Figura representativa de toda a zona que pode ser considerada de pedonal da UTAD .....	75
Figura 42 - Figura representativa de toda a zona automóvel no campus da UTAD.....	81

## 2 ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de runoff médios (Fonte: Tomaz, 2003) .....	45
Tabela 2 - Coeficientes de escoamento superficial "C" (Fonte: Tomaz, 2003).....	45
Tabela 3 - Coeficientes de escoamento (Fonte: Oliveira, 2008).....	46
Tabela 4 - Coeficientes de runoff (Fonte: Tomaz, 2003) .....	46
Tabela 5 - Coeficiente "C" em função da tipologia da superfície (Fonte: Matos, 2000/2001).....	47
Tabela 6 - Valores médios do coeficiente "C" para utilização na fórmula racional em função do tipo de ocupação (Fonte: Tomaz, 2003) .....	48
Tabela 7 - Valores médios do coeficiente "C" para utilização na fórmula racional em função do tipo de superfície (Fonte: Tomaz, 2003).....	48
Tabela 8 - Coeficiente "C" em função do período de retorno, para diversas tipologias de ocupação (Fonte: Tomaz, 2003) .....	49
Tabela 9 - Valores médios do coeficiente de escoamento a utilizar no método racional para áreas agrícolas (Fonte: Martins, 2000) .....	51
Tabela 10 - Coeficiente de escoamento a utilizar no método racional (Fonte: Martins, 2000).....	51
Tabela 11 - Número de escoamento para regiões urbanas, suburbanas e agrícolas (Fonte: Correia, 1984 <sup>b</sup> ) .....	56
Tabela 12 – Número de escoamento CN para regiões rurais (Fonte: Correia, 1984 <sup>b</sup> ) ...	57
Tabela 13 - Área correspondente a cada material constituinte das coberturas escolhidas .....	69
Tabela 14 - Coeficientes de escoamento escolhidos para cada edifício em estudo .....	70
Tabela 15 - Caudal de escorrência para o cenário 1 .....	71

---

Tabela 16 - Caudal de escorrência para o cenário 2 .....	71
Tabela 17 - Tabela resumo com a respetiva percentagem de redução dos diferentes cenários.....	71
Tabela 18 - Área correspondente a cada material constituinte do estacionamento na UTAD.....	72
Tabela 19 - Coeficientes de escoamento escolhidos para cada material do estacionamento em estudo.....	73
Tabela 20 - Caudal de escorrência para o cenário 1 .....	74
Tabela 21 - Caudal de escorrência para o cenário 2 .....	74
Tabela 22 - Caudal de escorrência para o cenário 3 .....	74
Tabela 23 - Tabela resumo com a respetiva percentagem de redução dos diferentes cenários.....	74
Tabela 24 - Áreas dos diferentes materiais que constituem a zona pedonal da UTAD..	75
Tabela 25 - Coeficientes de escoamento escolhidos para cada material em estudo .....	77
Tabela 26 - Caudal de escorrência para o cenário 1 .....	78
Tabela 27 - Caudal de escorrência para o cenário 2 .....	79
Tabela 28 - Caudal de escorrência para o cenário 3 .....	80
Tabela 29 - Tabela resumo com a respetiva percentagem de redução dos diferentes cenários.....	80
Tabela 30 - Áreas de toda a circulação automóvel da UTAD .....	82
Tabela 31 - Coeficientes de escoamento para cada material em estudo.....	82
Tabela 32 - Caudal de escorrência para o cenário 1 .....	83
Tabela 33 - Caudal de escorrência para o cenário 2 .....	84

---

Tabela 34 - Caudal de escorrência para o cenário 3 .....	84
Tabela 35 - Tabela resumo com a respetiva percentagem de redução dos diferentes cenários .....	85
Tabela 36 - Orçamento relativo a um pavimento poroso.....	88
Tabela 37 - Fatores de conversão dos materiais .....	88
Tabela 38 - Orçamento relativo a uma vala revestida com coberto vegetal .....	88
Tabela 39 - Fatores de conversão dos materiais .....	89
Tabela 40 - Orçamento relativo a um sistema de biorretenção.....	89
Tabela 41 - Fatores de conversão dos materiais .....	90
Tabela 42 - Custos finais de cada solução proposta .....	90

---

### 3 ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Diferenças entre os três tipos de coberturas ajardinadas (Fonte: Castelo-Branco, 2012) .....	43
Quadro 2 – Quadro com as diferentes inclinações para a determinação do coeficiente de escoamento (Fonte: Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais) .....	54
Quadro 3 - Valores dos parâmetros a, b (Fonte: Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais) .....	61

## 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Nos últimos anos, tem-se observado um significativo crescimento das cidades. Este crescimento traduz-se na construção urbana que é responsável pela remoção de grande parte da vegetação existente recobrando a superfície do solo com edifícios e materiais como asfalto e betão tornando, claramente, estas zonas menos permeáveis. Nas seguintes Figuras 1 e 2, está representado o balanço hidrológico antes e depois da urbanização apresentado e comparando as diferenças em termos percentuais no que respeita à evapotranspiração, infiltração superficial, infiltração profunda e escoamento superficial.

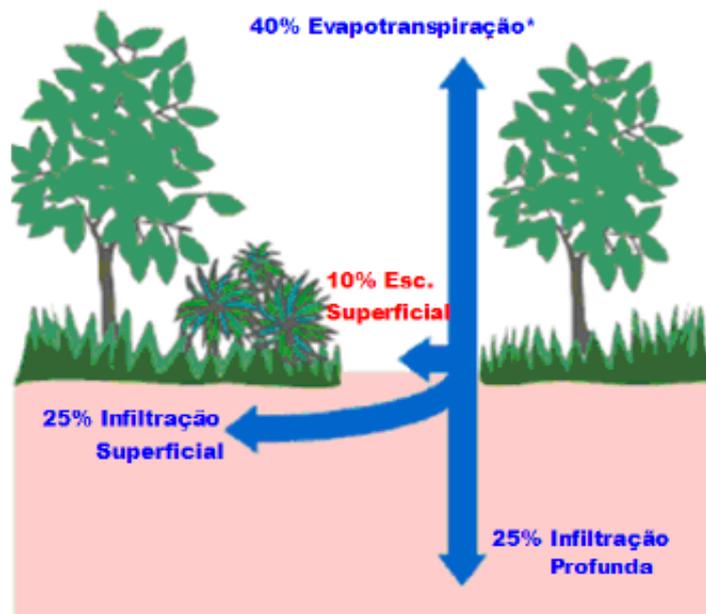


Figura 1 - Balanço hidrológico antes da urbanização (Fonte: Swartz e Belan, 2010)

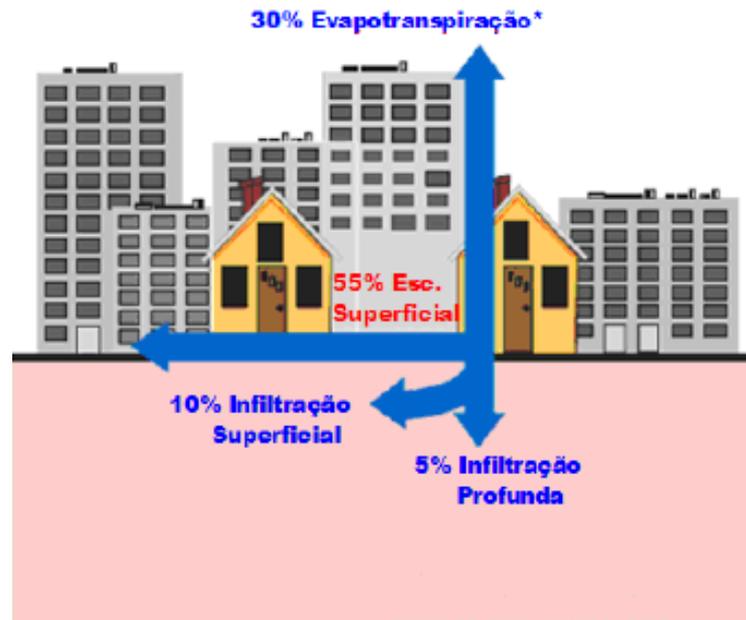


Figura 2 - Balanço hidrológico depois da urbanização (Fonte: Swatz e Belan, 2010)

A ocorrência de precipitações intensas em meios urbanos vai gerar inundações graves. Um efeito causador destas inundações é a impermeabilização do solo, pois, pode acarretar um grande escoamento superficial, e isso pode traduzir-se em prejuízos. As inundações devem-se ao facto da rede de drenagem inicial não estar devidamente preparada para fazer face aos caudais de ponta gerados pelas urbanizações mais recentes. Algumas soluções para este problema pode passar pela utilização de superfícies permeáveis como por exemplo pavimentos porosos, que é um sistema onde a água da chuva fica total ou parcialmente retida, funcionando também como filtro que detém alguns dos poluentes presentes nestas águas.

A aplicação deste tipo de soluções procura dar resposta a problemas ambientais, sociais, económicos, funcionais e estéticos de maneira a tornar as cidades mais sustentáveis.

Este trabalho tem como principal objetivo abordar algumas medidas de redução de impermeabilização do solos urbanos de maneira a mitigar os impactes ambientais associados ao escoamento excessivo de águas pluviais, tendo como propósito demonstrar que as medidas escolhidas como soluções para estes impactes permitem uma redução significativa dos caudais pluviais de escorrência. Para tal, vai-se utilizar como caso de estudo o campus da UTAD, nomeadamente as coberturas, as zonas de estacionamento, a zona pedonal e os arruamentos. Desta maneira, calcular-se-ão os caudais pluviais antes e depois da adoção de

medidas de redução da impermeabilização e a posterior percentagem de redução. Por fim efetuar-se-á uma análise de custos relativamente aos materiais e soluções adotadas.

A região de Lisboa, a partir dos anos 60, sofreu um grave desordenamento do território que se traduziu no aumento das cheias urbanas devido ao aumento do escoamento superficial e da carga sólida transportada. A zona do Algarve, especialmente Albufeira, também é uma zona propícia a cheias intensas. Segundo o Público, a câmara de Albufeira estudou várias medidas para por fim às inundações locais e vai construir um túnel para minimizar as consequências de grandes cheias.

## 2 MEDIDAS DE REDUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO

Os caudais pluviais de escorrência podem dar origem a diversos problemas como por exemplo as cheias urbanas. O conceito de cheia, segundo Portela (2005/2006), verifica-se quando uma bacia hidrográfica é alimentada por água de uma maneira intensa e gradual de tal forma que o caudal resultante que aflui à rede hidrográfica ultrapassa a sua capacidade. Assim, é de interesse conhecer o hidrograma de cheia, a partir do qual é possível fazer uma estimativa de caudais de ponta de cheia (Figura 3). A definição de hidrograma de cheia é bastante complexa pois depende das dimensões e características da bacia em estudo e ainda das características do próprio fenómeno de precipitação (Marques, Mendes, Santos (2005)).

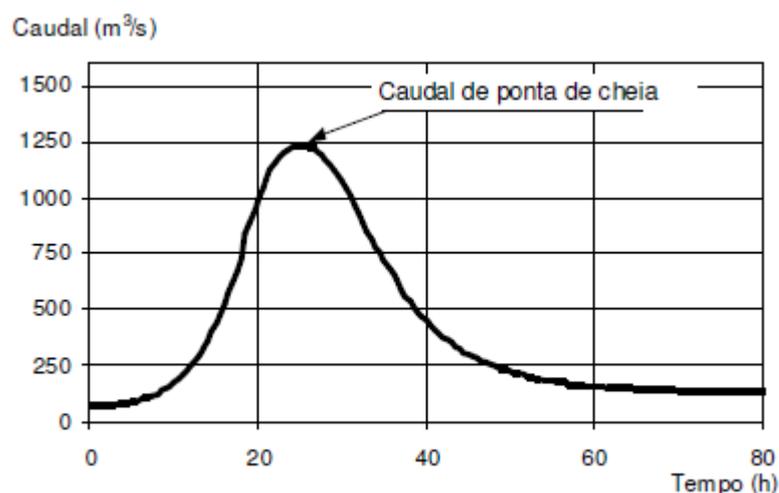


Figura 3 - Hidrograma de cheia (Fonte: Portela, 2005/2006)

Um dos fatores que contribui para a ocorrência de cheias é a impermeabilização de zonas naturais, quer seja para fins habitacionais, comerciais, industriais, circulação viária, circulação automóvel, entre outros. As coberturas convencionais, zonas de estacionamento, passeios e estradas são um exemplo de impermeabilização que se têm mostrado inerente ao processo de urbanização.

Tendo como objetivo a minimização de toda esta problemática, têm sido estudadas novas medidas e abordagens que visam o controlo das águas pluviais nas cidades e nos aglomerados urbanos, uma vez que é o principal responsável pelo controlo e minimização das inundações e conseqüente salvaguarda da população.

Arezes (2015), dividiu em dois grandes grupos as medidas que minimizam os impactos decorrentes do escoamento superficial:

- Medidas estruturais – tratam-se de obras que podem ser executadas com o objetivo de corrigir e/ou prevenir os problemas resultantes de cheias;
- Medidas não estruturais – são medidas em que se estuda a redução dos danos e as consequências das inundações através da introdução de normas, regulamentos e programas.

Na presente dissertação tratar-se-ão as medidas estruturais, como valas de infiltração, bacias de retenção, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis/porosos, bacias de infiltração, faixas filtrantes, caldeiras, poços absorventes, sistemas de biorretenção e coberturas ajardinadas.

### **2.1. Valas revestidas com coberto vegetal**

Segundo Arezes (2015), as valas revestidas com coberto vegetal, também chamadas de valas de infiltração, são dispositivos de controlo na origem, com desenvolvimento longitudinal, a céu aberto, revestidos com cobertura vegetal e geralmente de pequena profundidade.

Estas valas têm como objetivo concentrar o caudal proveniente das áreas adjacentes e criar condições para uma infiltração ao longo do seu comprimento. O seu volume deve ser suficiente para não ocorrer alagamento no caso de uma precipitação intensa. Também podem funcionar como dispositivos de retenção e tratamento das águas pluviais (Canholi, 2014 *in* Arezes, 2015).

É aconselhável que a sua utilização como tratamento de águas pluviais seja no início da linha devido ao facto de não apresentar bom desempenho para gerir caudais elevados.

Esta solução pode ser aplicada nas bermas de estradas, podendo igualmente constituir soluções bem integradas no meio urbano, especificamente em espaços verdes (Matos, 2003a *in* Lourenço, 2014).

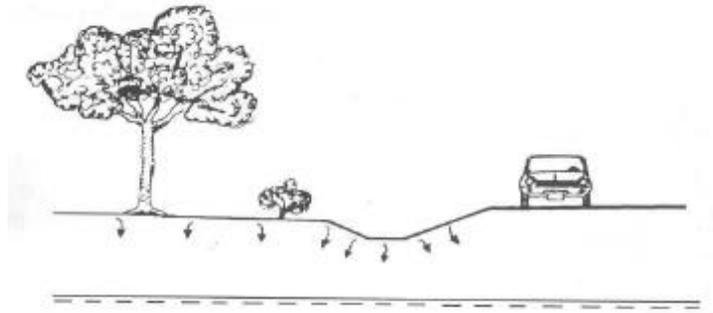


Figura 4 - Aspeto de uma vala revestida com coberto vegetal (Fonte: Padrão, 2016)



Figura 5 - Exemplo de uma vala revestida com coberto vegetal (Fonte: Araújo, 2013)

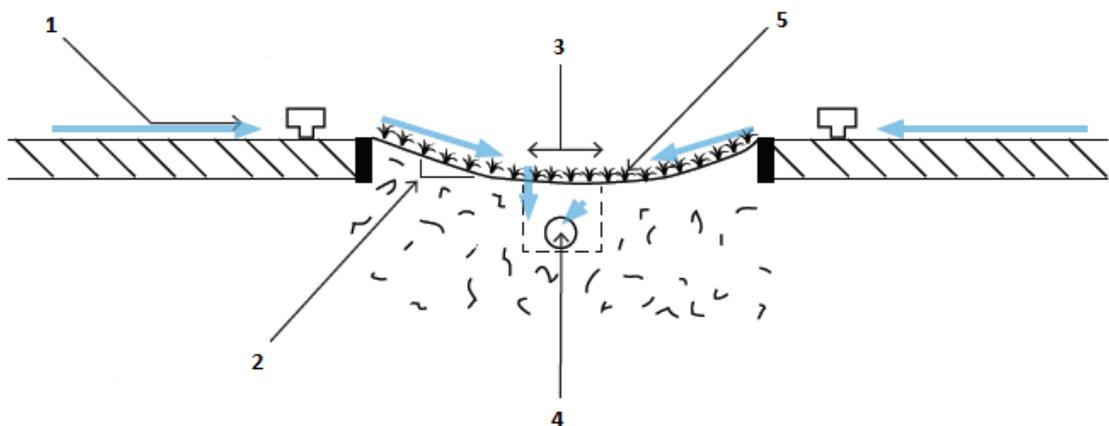


Figura 6 - Pormenores de uma vala revestida com coberto vegetal (Fonte: Auckland council)

Funcionamento/constituição de uma vala revestida com coberto vegetal:

- 1 – Entrada do escoamento;
- 2 – Inclinação lateral necessária para o bom funcionamento desta medida;
- 3 – Base da vala constituída por cascalho ou pedra de maneira a prevenir a erosão;
- 4 – Tubo perfurado (dreno), enterrado por baixo da vala para filtrar parte dos poluentes presentes neste (manta);
- 5 – Vegetação e solo: Ervas ou outro tipo de plantas para reter a grande parte das águas pluviais de escorrência.

Este tipo de sistemas apresentam algumas vantagens e desvantagens que se passam a enumerar. Como principais vantagens podem salientar-se as seguintes:

- Controlo do pico de cheia, reduzindo a velocidade do escoamento e promovendo a infiltração;
- Retenção de sedimentos e outros poluentes;
- Custo do dispositivo e da aplicação bastante baixos.

Quanto às desvantagens enumeram-se:

- Não remove os sedimentos e os poluentes com eficácia se não instalado adequadamente;
- Exige manutenção elevada;
- Contaminação de águas subterrâneas.

## **2.2. Bacias de retenção**

Segundo Padrão (2016), as bacias de retenção são estruturas de armazenamento de águas pluviais que têm como principal objetivo regular os caudais pluviais de escorrência apresentando também outras vantagens a nível ambiental e estético (Figura 7).



Figura 7 - Exemplo de uma bacia de retenção (Fonte: Lourenço, 2014)

Estas bacias podem ser implementadas a céu aberto ou enterradas. Nas bacias de retenção enterradas, indicadas especialmente para zonas urbanas, pode ser necessário recorrer a meios de bombagem para proceder ao esvaziamento das bacias em período de precipitação (Matias, 2006).

As bacias a céu aberto podem ser divididas em bacias a seco e bacias com nível de água permanente (Figuras 8, 9, 10 e 11). As bacias a seco são construídas para que na maioria do tempo estejam secas, isto é, acumulam água por um período de tempo curto apenas durante e após episódios de pluviosidade relativamente significativos (Matias, 2006).

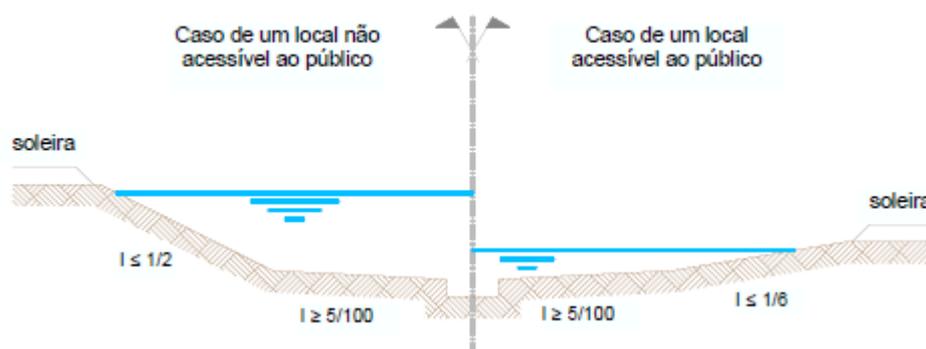


Figura 8 - Perfil transversal de uma bacia seca (Fonte: Matias, 2006)



Figura 9 - Exemplo de uma bacia seca em França (Fonte: STU, 1994 in Matias, 2006)

As bacias com nível de água permanente são geradas para manter uma fração de água permanentemente e, por esta razão é conveniente que o nível freático se situe a uma cota superior à da bacia de forma a assegurar a sua alimentação permanente (Matos, 2003 in Santos, 2010).

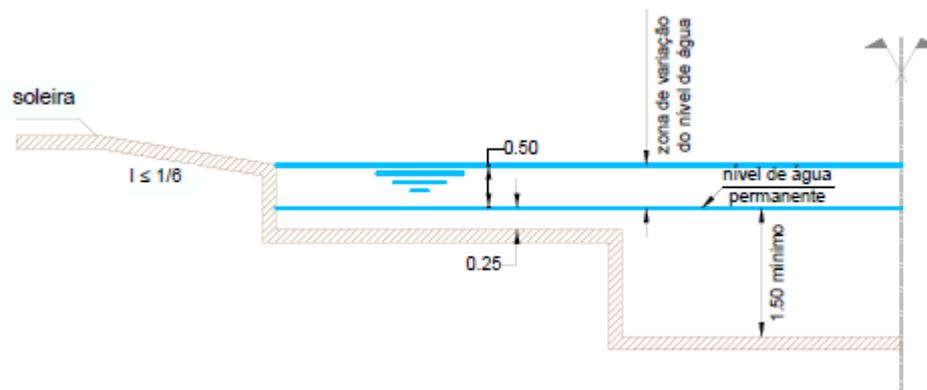


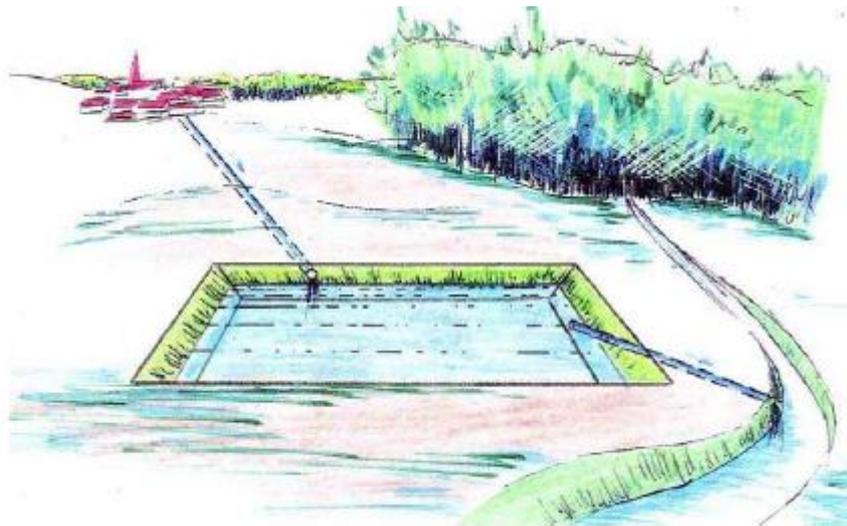
Figura 10 - Perfil transversal de uma bacia de retenção com nível de água permanente (Fonte: Matias, 2006)



*Figura 11 - Exemplo de uma bacia de retenção com água permanente (Fonte: STU, 1994 in Matias 2006)*

As bacias de retenção podem ainda classificar-se quanto à sua localização em relação ao coletor ou canal de drenagem principal, podendo dividir-se em bacias em série e em paralelo.

As bacias em série são colocadas no alinhamento do coletor/canal a montante de modo a que todo o escoamento daí proveniente afluja à bacia (Figura 12).



*Figura 12 - Desenho esquemático de uma bacia em série (Fonte: Matias, 2006)*

As bacias em paralelo são colocadas lateralmente ao coletor/canal a montante, mas neste caso nem todo o escoamento afluja à bacia, sendo feita a passagem através de um descarregador lateral como mostra a seguinte Figura 13.

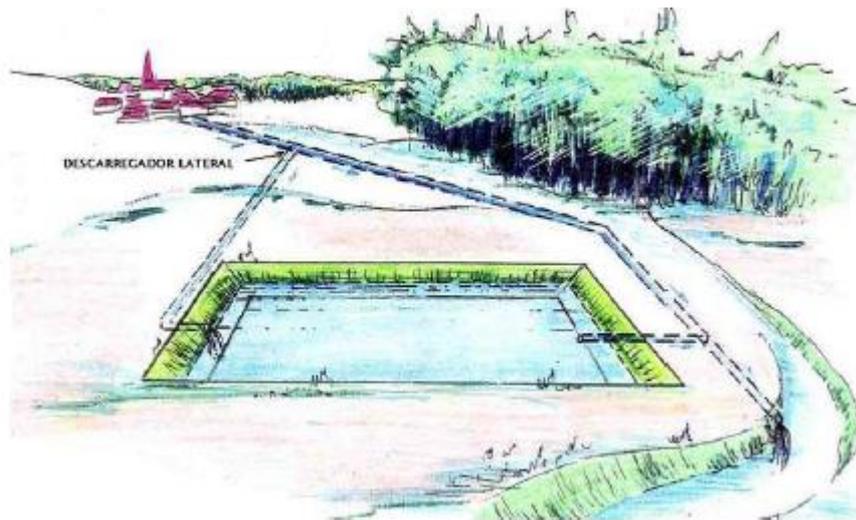


Figura 13 - Desenho esquemático de uma bacia em paralelo (Fonte: Matias, 2006)

De acordo com Matos (2003) *in* Santos (2010), este tipo de estruturas podem ter outras utilidades para além da redução dos riscos de cheias, como por exemplo, servir para a criação de reservas de água para posterior utilização após tratamento na limpeza de ruas, extinção de incêndios ou irrigação e melhoramento da qualidade da água pluvial no que respeita à redução dos sólidos em suspensão e à diminuição da matéria orgânica.

Assim resumem-se como principais vantagens:

- A capacidade de melhorar a qualidade da água pluvial;
- A capacidade de reduzir os riscos de inundação;
- A diminuição da ocorrência do escoamento superficial excessivo;
- A capacidade de regularização de caudais;
- A criação de reservas de água para futura utilização.

Como desvantagens:

- Ocupação de grandes áreas em planta;
- Risco de proliferação de insetos e doenças;
- Possibilidade de impactos negativos no ambiente urbano.

### 2.3. Trincheira de infiltração

A trincheira de infiltração é um dispositivo pouco profundo (Figura 14), normalmente com profundidade inferior a 1 metro, que tem como principal funcionalidade a diminuição da velocidade da água favorecendo a sua infiltração no solo, ou, então, o encaminhamento da água até um destino final definido como por exemplo um poço de infiltração ou um coletor (Arezes, 2015).



*Figura 14 - Exemplo de uma trincheira de infiltração (Fonte: Lourenço, 2014)*

Este dispositivo, apresenta uma camada superficial, composta por lajes, blocos de material poroso, seixos ou cobertura vegetal, seguida de uma camada interior drenante, constituída por brita, blocos, estruturas alveolares ou materiais reutilizados como por exemplo granulado dos pneus. Esta camada usualmente sobrepõe-se a uma malha de geotêxtil ou areia, formando uma camada protetora e filtrante dos vários poluentes.

Em relação à saída de água da trincheira, pode processar-se de duas formas distintas: de uma forma distribuída, ou seja, através da infiltração direta no solo envolvente da trincheira, ou de uma forma localizada, a partir de drenos que encaminham a água para uma câmara de visita a jusante.

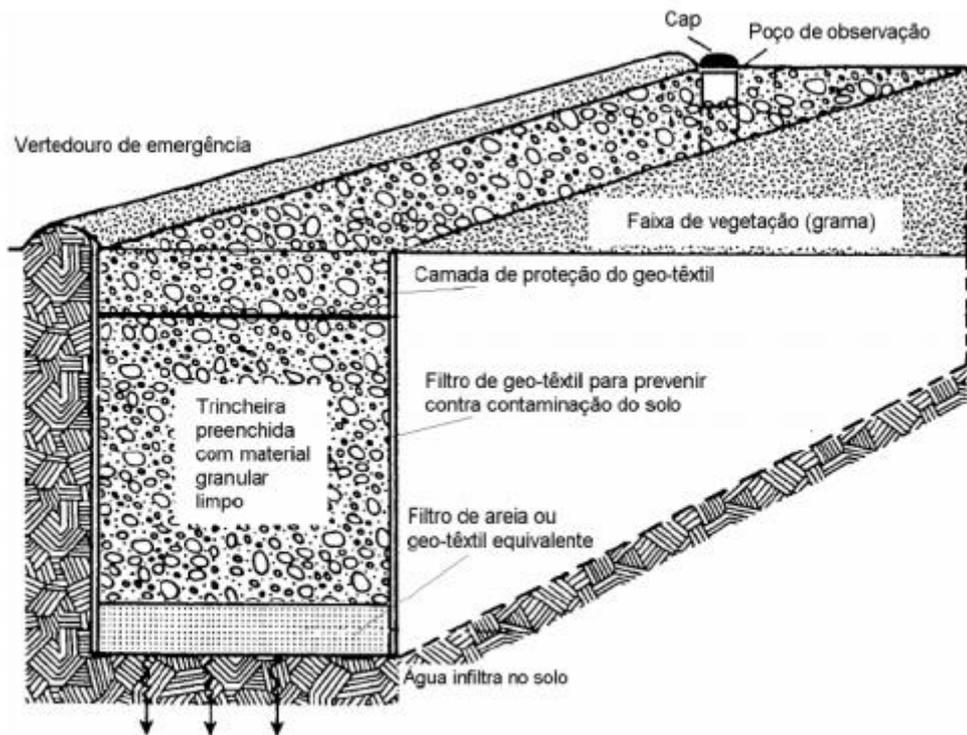


Figura 15 - Representação esquemática de uma trincheira de infiltração (Fonte: Reis et al. 2008)

Estas soluções apresentam como principais vantagens:

- A reduzida necessidade de espaço;
- A fácil execução;
- A redução dos riscos de inundação;
- A melhoria da qualidade das águas provenientes da chuva.

Como desvantagens salientam-se as seguintes:

- Existência do risco da contaminação das águas subterrâneas na presença elevada de poluentes nas águas pluviais;
- Previsão difícil da vida útil desta técnica;
- Limitação em termos de permeabilidade do solo;
- Necessidade de manutenção frequente;
- Monitorização difícil do desempenho e do funcionamento.

## 2.4. Pavimento permeável

O pavimento permeável, também denominado de pavimento poroso (Urbonas, 1993 *in* Tomaz 2009), tem como principal vantagem o facto de possuir uma maior capacidade de redução do escoamento das águas superficiais.

Segundo Padrão (2016), este tipo de pavimento é constituído por seis camadas, como mostra a Figura 16. Sob o solo é disposta uma camada filtrante, composta por exemplo por uma manta geotêxtil ou filtro de areia, e, seguidamente, uma camada de brita com alto índice de vazios, que para além da sua função mecânica, vai funcionar como um “reservatório” de águas pluviais. Nas interfaces da camada de brita com o terreno natural são utilizados filtros que evitam a migração dos finos do solo para a base do pavimento.

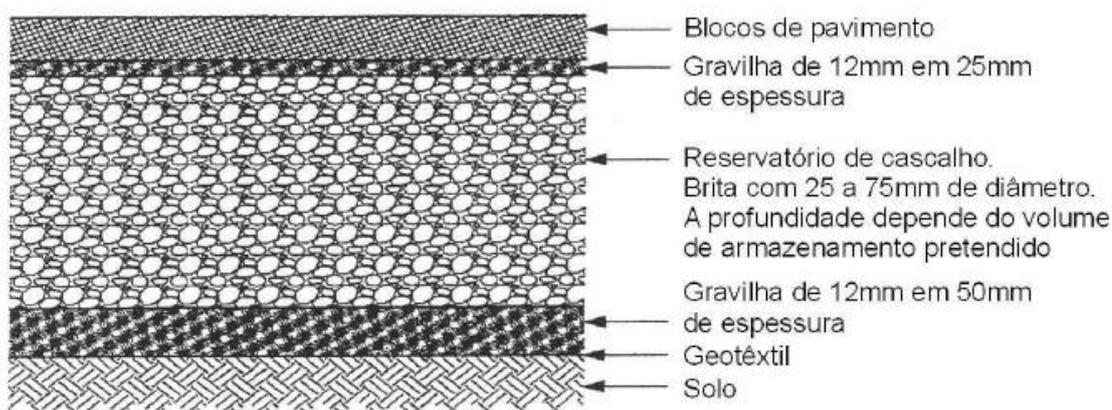


Figura 16 - Esquema de um pavimento poroso (Fonte: Padrão, 2016)

Santos (2010), afirmou que os pavimentos porosos são de dois tipos: um para as vias rodoviárias e outro para os parques de estacionamento. No primeiro caso, podem ser usados paralelepípedos de granito (Figura 17). Para os parques de estacionamento, como a estabilidade de condução é um parâmetro pouco importante, pode-se utilizar um material com um maior número de vazios, como por exemplo blocos de betão com orifícios verticais (Figuras 18 e 19).



*Figura 17 - Pavimento poroso constituído por paralelepípedos de granito (Fonte: Santos, 2010)*



*Figura 18 - Pavimento poroso composto por blocos de betão com orifícios verticais (Fonte: Santos, 2010)*



*Figura 19 - Pavimento poroso composto por blocos de betão (Fonte: Lourenço, 2014)*

Este tipo de soluções têm diversas vantagens, entre as quais:

- A redução do escoamento superficial;
- A redução dos custos de construção que podem ser maiores que os de um pavimento convencional, mas pode haver custos globais menores devido à redução da necessidade de sarjetas e sumidouros;
- O efeito depurador das águas pluviais.

Como desvantagens poder-se-ão apontar:

- O cuidado a ter no tipo de solo, nomeadamente no caso de solos argilosos que limitam a infiltração;
- A maior facilidade de formação de gelo em situações de baixa temperatura;

## 2.5. Bacias de infiltração

As bacias de infiltração são depressões no terreno que permitem a infiltração e o armazenamento temporário das águas e que também têm a capacidade de remover alguns dos poluentes presentes nas águas provenientes da chuva (Santos, 2010).

Um conceito fundamental na sua conceção é cobrir o topo da bacia com vegetação de raízes profundas de modo a aumentar a capacidade de infiltração da bacia. Uma vegetação densa previne também contra a erosão e a lavagem do fundo da bacia (Figura 20).

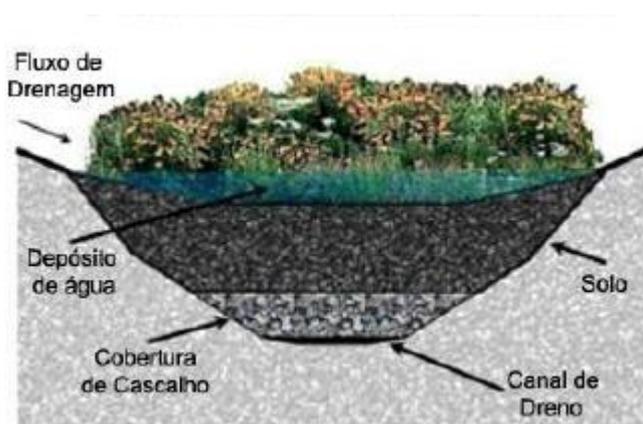


Figura 20 - Corte esquemático de uma bacia de infiltração (Fonte: Padrão, 2016)

Como principais vantagens deste tipo de soluções, destacam-se as seguintes:

- Reduz o escoamento superficial da área de drenagem;
- Remove eficazmente os sedimentos finos, metais, bactérias, nutrientes e matéria orgânica;
- Previne erosões e inundações a montante;
- Reduz o custo dos sistemas de drenagem a jusante;
- Reduz inundações locais.

Quanto às desvantagens, poder-se-á dizer que esta solução pode apresentar um risco de contaminação de aquíferos não sendo apropriada para tratar águas de escorrência com grandes quantidades de sedimentos e outros poluentes.

## 2.6. Faixas filtrantes

As faixas filtrantes são bandas de vegetação permanente, aplicadas num terreno inclinado, que servem para reter sedimentos ou outros materiais tal como reduzir algum do caudal pluvial de escorrência através da vegetação. A sua eficiência está dependente da densidade e tempo de contacto com a vegetação (Swartz e Belan, 2010).

Estas faixas são uma solução adequada ao tratamento de águas pluviais de áreas relativamente pequenas como estradas, por exemplo.

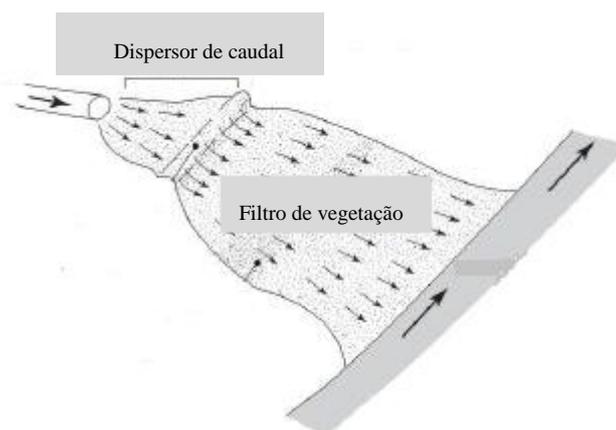


Figura 21 - Esquema de uma faixa filtrante (Fonte: Santos, 2010)

Uma faixa filtrante (Figura 22), depois da entrada de água da chuva, vai ter um dispensor de caudal que, de seguida, contém um depósito ou uma certa inclinação de maneira a aumentar o fluxo para o enviar para a área onde está presente a vegetação de modo a recolher

sedimentos, matéria orgânica e poluentes do caudal pluvial de escorrência, e também, parte deste.

Estas faixas são uma solução adequada ao tratamento de águas pluviais de áreas relativamente pequenas como estradas, por exemplo.



*Figura 22 - Exemplo de uma faixa filtrante inserida em zona urbana (Fonte: Lourenço, 2014)*

Esta medida apresenta várias soluções, entre elas:

- Adequado para aplicação ao lado de grandes áreas impermeáveis;
- Incentiva a evaporação e pode promover a infiltração;
- Fácil construção;
- Facilmente integrado no tecido urbano proporcionando benefícios estéticos.

Como desvantagens, a sua aplicação não é aconselhável em locais íngremes, nem para a drenagem em sítios onde haverá risco de contaminação das águas subterrâneas.

## **2.7. Caldeiras**

As caldeiras consistem em caixas de betão com um solo poroso, onde se encontra vegetação plantada como árvores ou arbustos, usadas para reter e filtrar o escoamento antes deste entrar no coletor (Swartz e Balen, 2010). Este sistema é colocado a montante de uma sarjeta ou sumidouro para assegurar a ligação aos coletores e para que em caso de cheia, o excesso de água possa ser captado pela infraestrutura tradicional a jusante (Figura 23).



*Figura 23 - Caldeira com sumidouro a montante (Fonte: Swartz e Belan, 2010)*

As vantagens deste dispositivo enumeram-se:

- Bastante úteis em áreas urbanas onde o espaço é limitado;
- Promove a infiltração;
- Capacidade de remover grande parte dos poluentes.

Como desvantagens, apresenta:

- Difícil manutenção;
- Custo elevado de construção.

## **2.8. Poço absorvente ou de infiltração**

Os poços absorventes (Figura 24) são infraestruturas que permitem a infiltração direta das águas pluviais no solo, sendo a sua implementação apropriada em locais onde a camada superficial do solo é impermeável desde que disponham de uma boa capacidade de infiltração numa camada mais profunda. A alimentação pode ser feita através do escoamento superficial ou através da rede de coletores (Padrão, 2016).

Os poços, no seu interior, podem ou não conter um material de enchimento, assegurando-se assim o armazenamento temporário das águas pluviais, de forma mais ou menos considerável, dependendo das condições de alimentação, da natureza do solo e do tipo de enchimento feito.

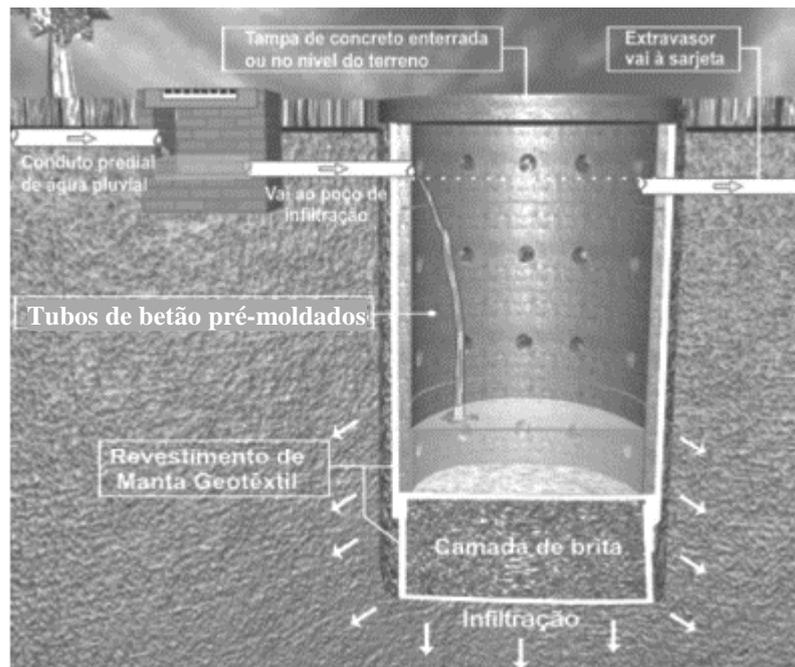


Figura 24 - Esquema de um poço de infiltração (Fonte: Reis et al. 2008)

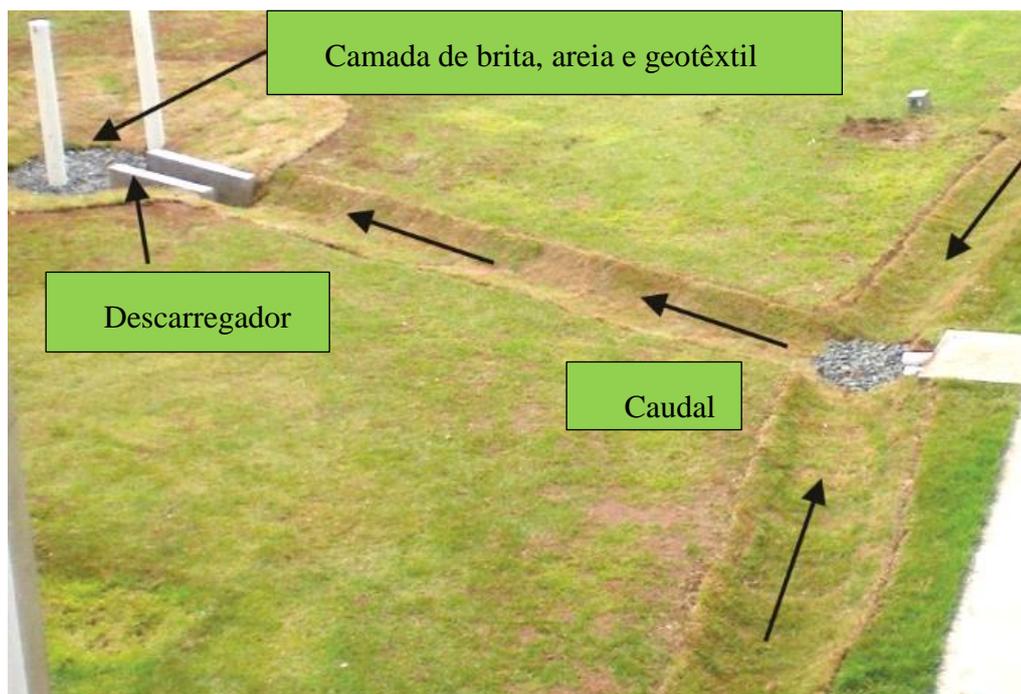


Figura 25 - Exemplo de um poço de infiltração (Fonte: Lucas et al. 2015)

Os poços absorventes têm como vantagens:

- Redução do volume de escoamento superficial;
- Fácil integração no tecido urbano;
- Baixo custo de construção e manutenção.

Como desvantagens:

- Volume reduzido de armazenamento;
- Manutenção frequente;
- Risco de contaminação de águas subterrâneas.

## 2.9. Sistemas de biorretenção

Os sistemas de biorretenção, também conhecidos como “jardins-chuva”, muito utilizados nos Estados Unidos da América, são sistemas colocados a uma cota ligeiramente inferior ao resto do solo concebidos para captar e filtrar quantidades moderadas de águas pluviais através de solo e vegetação (Swatz e Belan, 2010). Estes sistemas também podem conter camadas de areia e gravilha para aumentar os seus efeitos de infiltração (Watershed Management Division, s/data) (Figuras 26 e 27).

Segundo Lourenço (2014), as espécies vegetais mais utilizadas nestes sistemas incluem plantas ornamentais, herbáceas, arbustos e árvores, mas para zonas sujeitas a cheias, deve optar-se por espécies com boa capacidade para suportar as flutuações do nível da água.

Segundo Melo (2011), estes sistemas servem para proporcionar a máxima infiltração das águas escoadas controlando a quantidade e a qualidade das águas pluviais. Este autor, afirmou que na implantação destes dispositivos deve-se ter em consideração o tipo de solo e a vegetação existente.



Figura 26 - Exemplo de um sistema de biorretenção (Fonte: Cobec)



Figura 27 - Exemplo de um sistema de biorretenção (Fonte: Soluções para cidades)

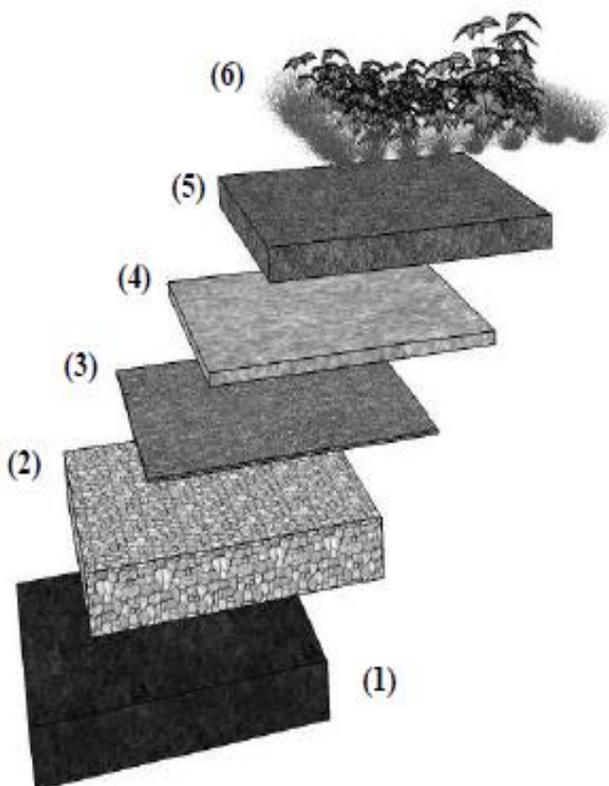


Figura 28 - Estrutura básica de um jardim-chuva (Fonte: Melo et al. 2014)

6 – Camada superficial onde se encontra a vegetação do sistema de biorretenção. É o local onde se faz a retenção da água, devido à diferença de altura em relação ao nível do solo;

5 - Local que contém todos os nutrientes que darão suporte à cobertura vegetal;

4 – Camada de forma, constituída por areia para estimular a infiltração e a redistribuição da água no solo;

3 – Manta geotêxtil destinada à retenção de finos no processo de infiltração;

2 – Camada formada por brita ou cascalho onde a água é retida temporariamente antes de ser destinada ao solo natural;

1 – Camada onde a água infiltrada pode ser utilizada para recarga subterrânea, armazenamento ou ambos.

Estes sistemas apresentam como vantagens:

- Permitir o controlo do escoamento;
- Remoção de poluentes;
- Vasta aplicabilidade e boa aceitação pela população.

Desvantagens:

- Dificuldade no dimensionamento pois é baseado na percentagem da área impermeável;
- Cuidado acrescido na manutenção pois as raízes da vegetação podem danificar as áreas adjacentes.

## **2.10. Coberturas ajardinadas**

As coberturas ajardinadas são um elemento altamente protetor da impermeabilização e também contribuem para a obtenção de ambientes confortáveis no interior dos edifícios reduzindo os consumos energéticos e permitindo que os edifícios se adaptem ao meio ambiente.

Earth Pledge (2005) *in* Raposo (2013) afirma que uma cobertura verde consiste num sistema construtivo de revestimento de coberturas que permite o crescimento de vegetação sem comprometer, e ao mesmo tempo protegendo a estrutura subjacente.

Este sistema é constituído por materiais específicos com funções interdependentes. A escolha dos materiais varia, mas, uma cobertura verde convencional possui algumas camadas tipo (Figura 29) que se descrevem de seguida:

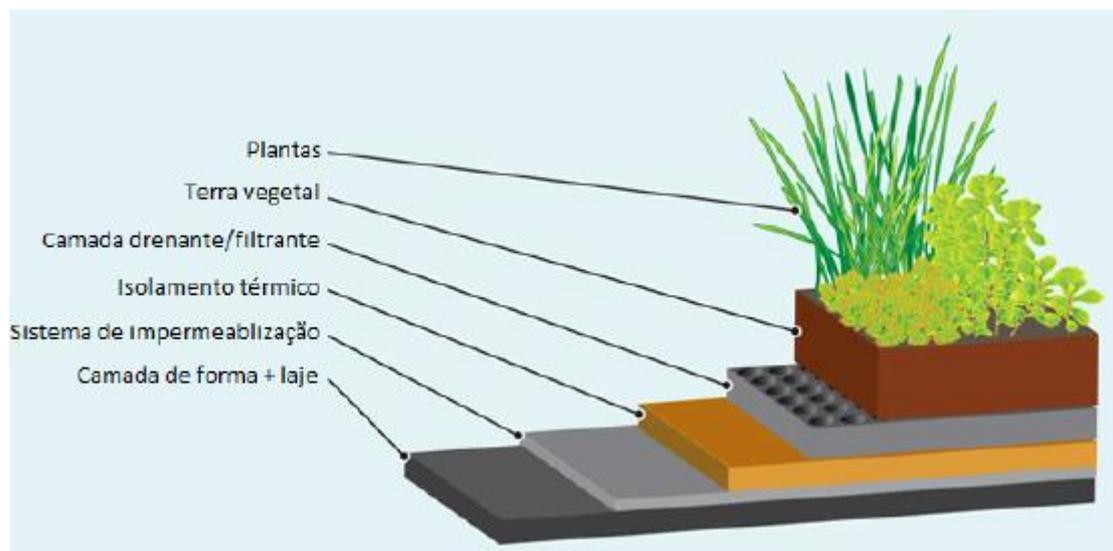


Figura 29 - Esquema tipo de uma cobertura ajardinada (Fonte: Pinto, 2014)

1. Plantas (vegetação) – a seleção das plantas depende do tipo de cobertura verde a implementar;
2. Terra vegetal (camada de substrato) – é o material que suporta as raízes das plantas mantendo-as estáveis e permitindo o seu desenvolvimento;
3. Camada filtrante – evita que as partículas do substrato sejam arrastadas provocando o entupimento da camada seguinte, sistema drenante;
4. Camada drenante – pode ter dupla função: escoar o excesso de águas pluviais e reter parte das mesmas para futura utilização pelas plantas;
5. Isolamento térmico – tem como principal papel a redução das transferências térmicas entre o interior e o exterior;
6. Sistema de impermeabilização – impede a entrada de água para o interior mas tem igualmente a função, no caso das coberturas verdes, de proteger da penetração de raízes nas camadas seguintes (camada de forma e suporte);
7. Camada de forma – é colocada sobre o suporte base de forma a garantir a pendente necessária para a drenagem das águas pluviais;
8. Suporte base – elemento constituído por exemplo por lajes e, obviamente, tem que ser compatível com o sistema de cobertura ajardinada.

As coberturas ajardinadas podem ser classificadas como intensivas, extensivas ou semi-intensivas, dependendo da profundidade do substrato a implementar, que é função do porte das plantas a utilizar, assim como das necessidades de rega e de manutenção.

- Coberturas intensivas

As coberturas intensivas podem ser construídas para fins ambientais, mas, geralmente, são projetadas para uso humano, conferindo mais um espaço ao edifício.

A profundidade do substrato deve ser superior a 15 cm, e por isso, a gama de plantas que podem ser utilizadas é muito superior à da cobertura extensiva. Posto isto, este tipo de cobertura verde precisa de uma estrutura suporte que comporte uma maior capacidade de carga, variando esta entre os 180 Kg/m<sup>2</sup> e 500 Kg/m<sup>2</sup> (Silva, 2011).

Usualmente, as plantas que são colocadas numa cobertura intensiva desidratam mais facilmente do que as que se encontram numa extensiva, pois não apresentam a mesma resistência a fatores ambientais adversos. Deste modo, a manutenção deste tipo de coberturas é mais elevada, o que, por sua vez, aumenta o seu custo.



*Figura 30 - Exemplo de uma cobertura intensiva (Fonte: Pinto, 2014)*

- Coberturas extensivas

As coberturas extensivas têm como principal objetivo a preservação do meio ambiente, e geralmente são inacessíveis ao público. No caso de a sua construção não ser para uso humano, são consideradas as coberturas mais ecológicas e sustentáveis em termos de recursos utilizados (Dunnet, *et. al.*, 2008 in Castelo-Branco, 2012).

A profundidade do substrato é muito reduzida (inferior a 15 cm) e, por isso, o peso exercido sobre a estrutura do edifício é menor que nas coberturas intensivas. O peso destas

coberturas, quando totalmente saturadas, pode atingir valores entre 50 a 170 kg/m<sup>2</sup> (GRHC, 2006a in Castelo-Branco, 2012), dependendo do tipo de materiais utilizados.

As plantas usadas são do género *Sedum*, da família *Crassulacea*, pois são bastante tolerantes a variações climáticas e à escassez de nutrientes. Neste tipo de coberturas é aconselhável utilizar diferentes espécies de plantas para obter uma maior biodiversidade e uma maior resistência às pragas e infeções. Ainda devem ter uma capacidade de regeneração elevada e requerer a menor manutenção possível.



Figura 31 - Exemplo de uma cobertura extensiva (Fonte: Pinto, 2014)

- Coberturas semi-intensivas

As coberturas semi-intensivas são um conceito mais recente, e na maioria das vezes são acessíveis ao público como mostra na Figura 32.

A profundidade do substrato, neste tipo de coberturas, varia entre 10 a 20 cm.

A variedade de plantas a utilizar é superior à das coberturas extensivas mas inferior à das coberturas intensivas. Relativamente aos custos da instalação e manutenção, estes são intermédios variando entre os custos associados às coberturas extensivas e intensivas.



*Figura 32 - Exemplo de uma cobertura semi-intensiva (Fonte: Palha, 2016)*

No Quadro 1 estão descritas as principais diferenças entre os três diferentes tipos de coberturas ajardinadas:

*Quadro 1 - Diferenças entre os três tipos de coberturas ajardinadas (Fonte: Castelo-Branco, 2012)*

	<b>Cobertura ajardinada intensiva</b>	<b>Cobertura ajardinada extensiva</b>	<b>Cobertura ajardinada semi-intensiva</b>
<b>Manutenção</b>	Alta	Baixa	Média
<b>Altura do solo</b>	$\geq 15$ cm	Entre 2 e 15 cm	Entre 10 e 20 cm
<b>Peso</b>	180 - 500 Kg/m <sup>2</sup>	60 – 150 Kg/m <sup>2</sup>	150 – 240 Kg/m <sup>2</sup>
<b>Tipo de planta</b>	- Gramíneas - Herbáceas - Suculentas - Aromáticas - Arbustos - Plantas perenes - Árvores	- Gramíneas - Herbáceas - Suculentas - Aromáticas	- Gramíneas - Herbáceas - Suculentas - Aromáticas - Pequenos arbustos - Plantas perenes
<b>Rega</b>	Regularmente	Não	Sim
<b>Custo</b>	Alto	Baixo	Médio
<b>Acessibilidade</b>	Frequente	Não	Frequente

Como principais vantagens destas coberturas salientam-se as seguintes:

- Aumento da eficiência energética e redução dos custos em energia;
- Aumento da proteção contra o ruído;
- Prevenção do risco de incêndio;
- Diminuição dos riscos de inundação;
- Absorção dos poluentes presentes na água da chuva.

Quanto às desvantagens:

- Crescimento de raízes que podem afetar as camadas de impermeabilização;
- Manutenção superior à das coberturas tradicionais;
- Mão-de-obra especializada;

- Maiores cargas na cobertura.

As coberturas ajardinadas como todos os dispositivos/técnicas que foram explicadas anteriormente constituem medidas para a redução do escoamento superficial por diminuição do coeficiente de escoamento, assunto que será abordado no capítulo seguinte.

### 3. COEFICIENTES DE ESCOAMENTO

O coeficiente de escoamento, ou também conhecido como coeficiente de *runoff*, é uma das grandezas que caracteriza o escoamento superficial, daí a sua definição ser bastante importante. A definição mais vulgarmente utilizada refere que o coeficiente de escoamento é o quociente entre a água escoada e a água precipitada. Este coeficiente varia à medida que a bacia se torna urbanizada, sendo de grande importância na avaliação da capacidade de sistemas de drenagem (Moraes *et al.*, 2007 in Mangoni *et al.*, 2010).

A avaliação do coeficiente de escoamento de uma determinada bacia deve ser efetuada com rigor, pois a inadequada capacidade dos sistemas de drenagem de águas pluviais ou de passagens hidráulicas, por exemplo, devem-se muitas vezes à deficiente quantificação deste coeficiente ou à alteração das condições de escoamento.

Nas bacias urbanas, o aumento do coeficiente de escoamento, pode implicar sérios problemas de cheias, motivados pelo incremento de áreas impermeáveis. Desta forma, quando se quantifica o coeficiente de escoamento, para além de se ter em conta o tipo de solo e a sua utilização, deve ser convenientemente analisada a possibilidade de poderem ocorrer alterações nas condições de escoamento da bacia e respetivas consequências.

Da análise de vários estudos de vários autores relativamente a este coeficiente, resultaram as seguintes tabelas com valores de coeficientes de escoamento:

*Tabela 1 - Coeficiente de runoff médios (Fonte: Tomaz, 2003)*

<b>Telhado de captação</b>	<b>Coeficiente de <i>runoff</i></b>
Telhas cerâmicas	0.80 - 0.90
Telhas corrugadas de metal	0.70 - 0.90

*Tabela 2 - Coeficientes de escoamento superficial "C" (Fonte: Tomaz, 2003)*

<b>Superfície</b>	<b>Coeficiente de escoamento</b>
Telhados	0.70 - 0.95
Pavimentos	0.40 - 0.90
Via macadamizada	0.25 - 0.60

Vias e passeios apedregulhados	0.15 - 0.30
Quintais e lotes vazios	0.10 - 0.30
Parques e jardins dependendo do declive	0.00 - 0.25

*Tabela 3 - Coeficientes de escoamento (Fonte: Oliveira, 2008)*

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de Runoff</b>
Telhas cerâmicas	0.8 - 0.9
Telhas esmaltadas	0.9 – 0.95
Telhas corrugadas de metal	0.8 – 0.9
Cimento amianto	0.8 – 0.9
Plástico, PVC	0.9 – 0.95

*Tabela 4 - Coeficientes de runoff (Fonte: Tomaz, 2003)*

<b>Tipo de captação</b>	<b>Coeficiente de runoff</b>
Captação descoberta	
Declive 0.2%	0.18
Declive 0.5%	0.22
Declive 2%	0.34
Declive 5%	0.37
Captação cobertura	
Telhas cerâmicas	0.56

Chapas corrugadas	0.85
Plástico	0.94
Superfície pavimentada	0.68
Metálica	0.52
Telhados verdes	0.27

*Tabela 5 - Coeficiente "C" em função da tipologia da superfície (Fonte: Matos, 2000/2001)*

<b>Tipo de superfície</b>	<b>Coeficiente</b>
<u>Valores a utilizar na drenagem de aeroportos</u>	
Coberturas impermeabilizadas de edificações	0.75 – 0.95
Pavimento asfáltico	0.80 – 0.95
Pavimento em betão	0.70 – 0.90
Pavimento em gravilha de macadame	0.35 – 0.75
Solo impermeável	0.40 – 0.60
Solo impermeável, relvado	0.30 – 0.55
Solo pouco permeável	0.15 – 0.40
Solo pouco permeável, relvado	0.10 – 0.30
Solo moderadamente permeável	0.05 – 0.20
Solo moderadamente permeável, relvado	0.00 – 0.10
<u>Valores a utilizar na drenagem de áreas urbanas</u>	
Coberturas impermeabilizadas de edificações, pavimentos impermeáveis	0.70 – 0.90
Pavimentos de calçada	0.50 – 0.70
Pavimentos de macadame	0.25 – 0.60
Pavimentos de gravilha	0.15 – 0.30

Parques	0.05 – 0.30
---------	-------------

*Tabela 6 - Valores médios do coeficiente "C" para utilização na fórmula racional em função do tipo de ocupação (Fonte: Tomaz, 2003)*

<b>Tipologia de ocupação</b>	<b>Coeficiente</b>
<u>Comercial</u>	
No centro da cidade	0.70 – 0.95
Nos arredores	0.50 – 0.70
<u>Residencial</u>	
Habitações unifamiliares	0.30 – 0.50
Prédios isolados	0.40 – 0.60
Prédios geminados	0.60 – 0.70
Suburbano	0.25 – 0.40
<u>Industrial</u>	
Pouco denso	0.50 – 0.80
Muito denso	0.60 – 0.90
<u>Parques e cemitérios</u>	0.10 – 0.25
<u>Campos de jogos</u>	0.20 – 0.40

*Tabela 7 - Valores médios do coeficiente "C" para utilização na fórmula racional em função do tipo de superfície (Fonte: Tomaz, 2003)*

<b>Tipologia de superfície</b>	<b>Coeficiente</b>
<u>Pavimento</u>	
Asfáltico	0.70 – 0.95

Betão	0.80 – 0.95
<u>Passeios para peões</u>	0.85
<u>Cobertura (telhados)</u>	0.75 – 0.95
<u>Relvado sobre solo permeável</u>	
Plano < 2%	0.05 – 0.10
Médio, 2% a 7%	0.10 – 0.15
Inclinado > 7%	0.15 – 0.20
<u>Relvado sobre solo impermeável</u>	
Plano < 2%	0.13 – 0.17
Médio, 2% a 7%	0.18 – 0.22
Inclinado > 7%	0.25 – 0.35

*Tabela 8 - Coeficiente "C" em função do período de retorno, para diversas tipologias de ocupação  
(Fonte: Tomaz, 2003)*

Tipologia da superfície	Coeficiente		
	Período de retorno (anos)		
	5 - 10	25	100
<u>Pavimentos</u>			
Asfáltico	0.80	0.88	0.95
Betão	0.85	0.93	0.95

<u>Passeios</u>			
	0.85	0.93	0.95
<u>Coberturas</u>			
	0.85	0.93	0.95
<u>Relvado em solo permeável</u>			
Plano < 2%	0.07	0.08	0.09
Médio – 2% a 7%	0.12	0.13	0.15
Inclinado > 7%	0.17	0.19	0.21
<u>Relvado em solo impermeável</u>			
Plano < 2%	0.18	0.20	0.22
Médio – 2% a 7%	0.22	0.24	0.27
Inclinado > 7%	0.30	0.33	0.37
<u>Área florestada em solo impermeável</u>			
Plano < 2%	0.12	0.13	0.15
Médio – 2% a 7%	0.20	0.22	0.15
Inclinado > 7%	0.30	0.33	0.37
<u>Área florestada em solo permeável</u>			
Plano < 2%	0.30	0.33	0.37
Médio – 2% a 7%	0.40	0.44	0.50
Inclinado > 7%	0.50	0.55	0.62

*Tabela 9 - Valores médios do coeficiente de escoamento a utilizar no método racional para áreas agrícolas (Fonte: Martins, 2000)*

Tipos de solos	Coeficiente de escoamento		
	Cobertura da bacia		
	Culturas	Pastagens	Bosques e florestas
Com capacidade de infiltração superior à média; usualmente arenosos	0.20	0.15	0.10
Com capacidade de infiltração média; sem camadas de argila; solos francos ou similares	0.40	0.35	0.30
Com capacidade de infiltração inferior à média; solos argilosos pesados ou com uma camada argilosa junto à superfície; solos delgados sobre rocha impermeável	0.50	0.45	0.40

*Tabela 10 - Coeficiente de escoamento a utilizar no método racional (Fonte: Martins, 2000)*

Cobertura da bacia	Morfologia	Declive médio (%)	Tipo de terreno		
			Arenosos	Com argilas e limo	Com argila compacta
	Plana	0 – 5	0.10	0.30	0.40
Bosques	Ondulada	5 – 10	0.25	0.35	0.50
	Montanhosa	10 – 30	0.30	0.50	0.60

	Plana	0 – 5	0.10	0.30	0.40
Pastagens	Ondulada	5 – 10	0.15	0.36	0.55
	Montanhosa	10 – 30	0.22	0.42	0.60
	Plana	0 – 5	0.30	0.50	0.60
Cultivados	Ondulada	5 – 10	0.40	0.60	0.70
	Montanhosa	10 – 30	0.52	0.72	0.82

Relativamente a estudos acerca de pavimentos porosos, Acioli (2005) afirmou que Schluter et al. (2002) chegaram a resultados de 0.14 a 0.76 ou ainda de 0.05 (Araújo et al. 2000) para o coeficiente de escoamento em revestimentos porosos.

Segundo o DL nº23/95 de 23 de Agosto, o coeficiente de escoamento depende do tipo de inclinação do terreno e da percentagem de áreas impermeáveis. No caso da existência de várias bacias parciais, o coeficiente de escoamento deve ser ponderado em função da contribuição em termos de área das diversas bacias.

Em situações em que várias superfícies ou diferentes tipos de terreno contribuam para um determinado elemento de recolha, utiliza-se a seguinte expressão que tem em conta as contribuições parcelares de cada superfície:

$$C_{ponderado} = \frac{\sum C_i \times A_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

Onde:

$C_i$ - coeficiente de escoamento de cada superfície

$A_i$  – área a drenar em projeção horizontal de cada superfície (m<sup>2</sup>)

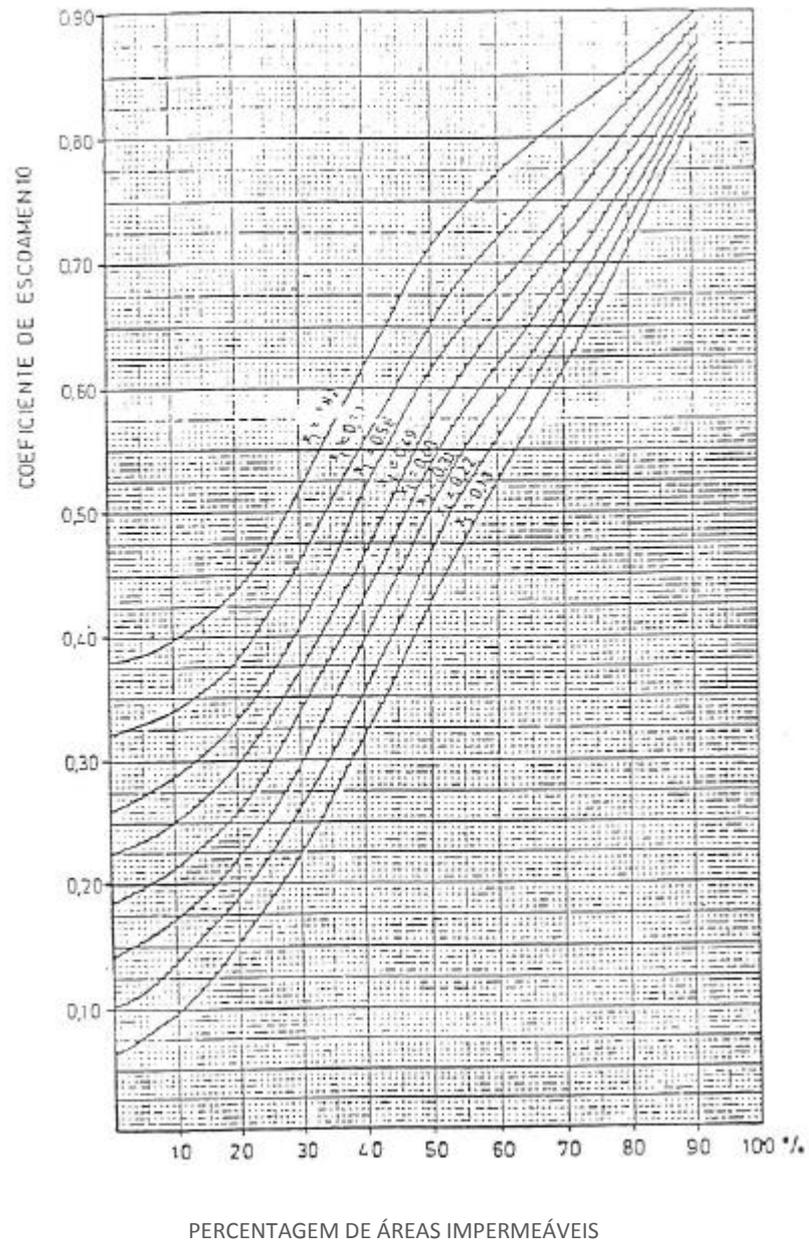


Figura 33 - Figura ajuda para a determinação do coeficiente de escoamento (Fonte: Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais)

Quadro 2 – Quadro com as diferentes inclinações para a determinação do coeficiente de escoamento (Fonte: Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais)

Valor de x1	Terreno Plano I=0 a 1%	Terreno pouco inclinado I=1 a 1,5%	Terreno inclinado I=1,5 a 8%	Terreno muito inclinado I> 8%
Terreno Arenoso	0,13	0,22	0,31	0,49
Terreno Semi-arenoso	0,22	0,31	0,40	0,58
Terreno Semi-Compacto	0,31	0,40	0,49	0,70
Terreno Compacto	0,40	0,49	0,58	0,82

Choupas (1995) in Martins (2000), considera que o coeficiente de escoamento pode ser calculado através da fórmula de Schaak, Geyer e Knapp:

$$C = 0.14 + 0.64 C_{imp} + 5I_{mb} \quad (2)$$

$$C_{imp} = \frac{A_{imp}}{A_b} \quad (3)$$

Sendo:

C – coeficiente de escoamento;

$C_{imp}$  – coeficiente de impermeabilização;

$A_{imp}$  – superfície impermeável da bacia hidrográfica;

$A_b$  – área da bacia hidrográfica;

$I_{mb}$  – declive média da bacia hidrográfica (m/m).

Este autor, afirmou que se na mesma bacia hidrográfica existirem zonas diferentes, no que diz respeito ao tipo de solo, morfologia, inclinação e cobertura, deve ser utilizado um coeficiente de escoamento ponderado.

Uma outra forma de calcular o coeficiente de *runoff*, é a partir da fórmula de Temez (1978), sendo esta apenas aplicável para pequenas bacias hidrográficas naturais (Martins, 2000):

$$C = \frac{(Pd - P_0)(Pd + 23P_0)}{(Pd + 11P_0)^2} \quad (4)$$

Sendo:

C – coeficiente de escoamento;

P<sub>d</sub> – precipitação máxima (mm);

P<sub>0</sub> – parâmetro relativo às perdas iniciais da chuvada antes de se iniciar o escoamento superficial (mm);

P<sub>0</sub> pode ser obtido por Temez (1978) ou então pela seguinte fórmula:

$$P_0 = \frac{5080}{CN} - 50.8 \quad (5)$$

Em que CN é o número de escoamento da bacia hidrográfica definido pelo Soil Conservation Service (SCS).

Tabela 11 - Número de escoamento para regiões urbanas, suburbanas e agrícolas (Fonte: Correia, 1984<sup>b</sup>)

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO	TIPO DE SOLO			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem medidas de conservação do solo	72	81	88	91
com medidas de conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou baldios: em más condições	68	79	86	89
em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais: cobertura má, sem "Mulch"	45	66	77	83
boa cobertura	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, cemitérios, etc.				
Boas condições: relva cobrindo mais de 75% da área	39	61	74	80
Condições razoáveis: relva cobrindo de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios (85% de área impermeável)	89	92	94	95
Zonas industriais (72 % de área impermeável)	81	88	91	93
Zonas residenciais:				
Áreas médias dos lotes      Percentagem média impermeável				
< 500 m <sup>2</sup> 65 %	77	85	90	92
1000 m <sup>2</sup> 38 %	61	75	83	87
1300 m <sup>2</sup> 30 %	57	72	81	86
2000 m <sup>2</sup> 25 %	54	70	80	85
4000 m <sup>2</sup> 20 %	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas:				
asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
gravilha	76	85	89	91
terra	72	82	87	89

Tabela 12 – Número de escoamento CN para regiões rurais (Fonte: Correia, 1984<sup>b</sup>)

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO	CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE	TIPO DE SOLO			
		A	B	C	D
Solo lavrado		77	86	91	94
Culturas arvenses	Segundo o maior declive	64	76	84	88
	Segundo as curvas de nível	62	74	82	85
	Segundo as curvas de nível e em terraço	60	71	79	82
Rotações de culturas	Segundo o maior declive	62	75	83	87
	Segundo as curvas de nível	60	72	81	84
	Segundo as curvas de nível e em terraço	57	70	78	82
Pastagens	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Boa	39	61	74	80
	Pobre, segundo as curvas de nível	47	67	81	88
	Normal, segundo as curvas de nível	25	59	75	83
	Boa, segundo as curvas de nível	6	35	70	79
Prado permanente	Normal	30	58	71	78
Zonas sociais rurais	Normal	59	74	82	86
Estradas	Pavimento permeável	72	82	87	89
	Pavimento impermeável	74	84	90	92
Florestas	Muito abertas ou de baixa transpiração	56	75	86	91
	Abertas ou de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normal	36	60	73	79
	Densas ou de alta transpiração	25	55	70	77
	Muito densas ou de alta transpiração	15	44	54	61
Superfície impermeável		100	100	100	100

A influência do valor do coeficiente de escoamento faz-se sentir quando se procede à sua aplicação no cálculo dos caudais de escoamento superficiais gerados, com recurso por exemplo ao Método Racional, que se irá abordar de seguida.

## 4 CÁLCULO DO CAUDAL PLUVIAL DE ESCORRÊNCIA

### 4.1. Método racional

A origem e autoria dos princípios da fórmula racional é atribuída a Mulvaney que publicou em 1851 o artigo “*On the use of the self-registering and flood gauges in making observations on the relation of rainfall and flood discharges in a given catchment*”. Esta publicação foi ignorada até 1889, altura em que o engenheiro Emil Kuickling inseriu a expressão nos Estados Unidos da América designando-a de fórmula racional.

Mais tarde, Diogo (1993) estudou que o caudal máximo pluvial pode ser calculado pelo método racional e a sua utilização requer o conhecimento da área e dos tipos de ocupação e solo da bacia em estudo, do tempo de concentração e das curvas IDF para o período de retorno pretendido. Este método é expresso pela seguinte expressão dimensionalmente homogénea (não depende do sistema de unidades):

$$Q_{máx} = C \times I \times A \quad (6)$$

Em que:

C – Coeficiente de escoamento adimensional;

i – Intensidade média máxima de precipitação com duração igual ao tempo de concentração da bacia ( $t_c$ ) e o período de retorno ( $T_r$ ) que se pretende para o caudal ( $l/min.m^2$ );

A – área da bacia de drenagem a montante ( $m^2$ ).

#### 4.1.1. Tempo de retorno

O tempo de retorno (T) é o intervalo de tempo médio estimado de ocorrência de um evento, isto quer dizer que é o intervalo de tempo médio que decorre para que um determinado evento seja igualado ou excedido. (Padrão, 2016)

Existe o risco de o caudal associado a um período de retorno ser excedido num intervalo de tempo, e por isso, este parâmetro deve ser escolhido em função do risco que é aceitável dentro do tempo de vida útil de uma obra. Este risco é calculado pela seguinte fórmula, e vem sob a forma de probabilidade, estando portanto entre 0 e 1:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^C \quad (7)$$

Em que:

R – Risco;

T – Tempo de retorno;

C – Intervalo de tempo.

A escolha deste parâmetro deve ser cuidadosa, tendo em conta as consequências negativas que um caudal superior ao caudal de ponta pode ter perante a população, face ao dimensionamento do sistema de drenagem dimensionado.

#### 4.1.2. Tempo de concentração

Segundo Padrão (2016) o tempo de concentração ( $t_c$ ) é o tempo necessário para que uma gota de água caída no ponto cinematicamente mais afastado da bacia atinja e a secção em estudo.

Os fatores que influenciam este parâmetro são os seguintes:

- Inclinação média da bacia;
- Forma da bacia;
- Tipo de cobertura vegetal;

- Distância horizontal entre o ponto mais afastado da bacia e a sua saída;
- Comprimento e inclinação do curso principal de água e afluentes;
- Condições do solo em que a bacia se encontra no início da chuvada.

Na aplicação deste conceito no método racional, o tempo de precipitação é considerado igual ao tempo de concentração.

Segundo o mesmo autor, o tempo de concentração é igual à soma do tempo inicial com o tempo de percurso. O tempo inicial depende das zonas em estudo:

- 5 minutos – zonas inclinadas ( $i > 8\%$ ) e com grande densidade de sumidouros e sarjetas;
- 7.5 a 10 minutos – zonas em que a inclinação fica entre os 1.5 e 8%;
- 10 a 15 minutos – zonas praticamente planas ( $i < 1.5\%$ ) e com pequena densidade de dispositivos de entrada.

#### 4.1.3. Intensidade de precipitação

A precipitação utilizada no método racional, depende da duração da precipitação e do tempo de retorno, e é representada pela intensidade média máxima para um período igual ao tempo de concentração.

A determinação da intensidade de precipitação calcula-se a partir da seguinte expressão do tipo exponencial:

$$I = a \times t^b \quad (8)$$

Em que:

I – intensidade de precipitação (mm/h)

t – duração da precipitação (min)

a,b – constantes dependentes do período de retorno considerado

Os parâmetros  $a$  e  $b$  são adimensionais e dependem da região pluviométrica e do período de retorno considerado.

O Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, para Portugal continental definiu três regiões pluviométricas distintas, A, B e C. Na Figura 34 e no Quadro 3 estão assinaladas estas regiões e os respetivos parâmetros  $a$  e  $b$  para diferentes tempos de retorno usualmente considerados.

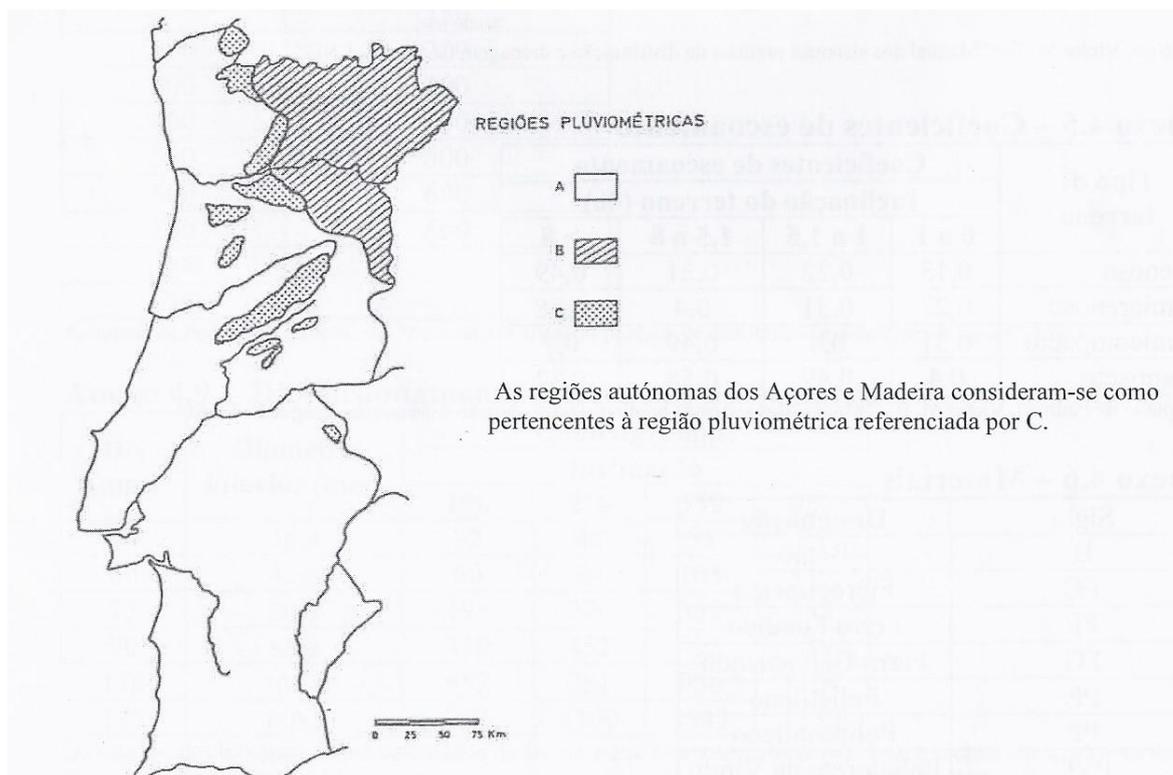


Figura 34 - Regiões pluviométricas (Fonte: Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais)

Quadro 3 - Valores dos parâmetros  $a$ ,  $b$  (Fonte: Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais)

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

## 4.2. Método racional generalizado

Uma das maiores dificuldades do método racional consiste na previsão de caudais de ponta em bacias com baixas percentagens de áreas impermeáveis. Este método, na sua simplicidade de aplicação, não permite qualquer rigor no descrito anteriormente (Costa, 1983 *in* Matos, 2000/2001). Este mesmo autor deduziu que a fórmula racional é um caso particular de uma fórmula mais geral, aplicável a bacias com qualquer percentagem de áreas impermeáveis, com a seguinte expressão:

$$Q = 2 \left( \frac{vl}{v} \right) \left( \frac{t}{tc} \right) \Upsilon C i A \quad (9)$$

$vl$  ( $m^3$ ) – volume correspondente à parte ascendente do hidrograma

$v$  ( $m^3$ ) – volume total do hidrograma

$t$  h – duração da precipitação do projeto

$tc$  (h) – tempo de concentração da bacia

$\Upsilon$  – coeficiente de regolfo

Segundo Costa (1983) *in* Matos (2000/2001), a expressão  $2 \left( \frac{vl}{v} \right)$  exprime o efeito de retenção e armazenamento e é mínimo em bacias naturais, onde toma o valor de 0.65, mas em bacias totalmente impermeáveis este quociente é igual à unidade. O quociente  $\frac{t}{tc}$  exprime o desfasamento entre o fim da chuvada e o instante em que se verifica o caudal de ponta e é mínimo para bacias naturais onde toma o valor de 0.7. Em bacias totalmente impermeáveis ou canalizadas, admite-se um valor igual a 1.

Na Figura 35 apresentam-se as relações gráficas que permitem calcular o coeficiente de redução global do método racional generalizado.

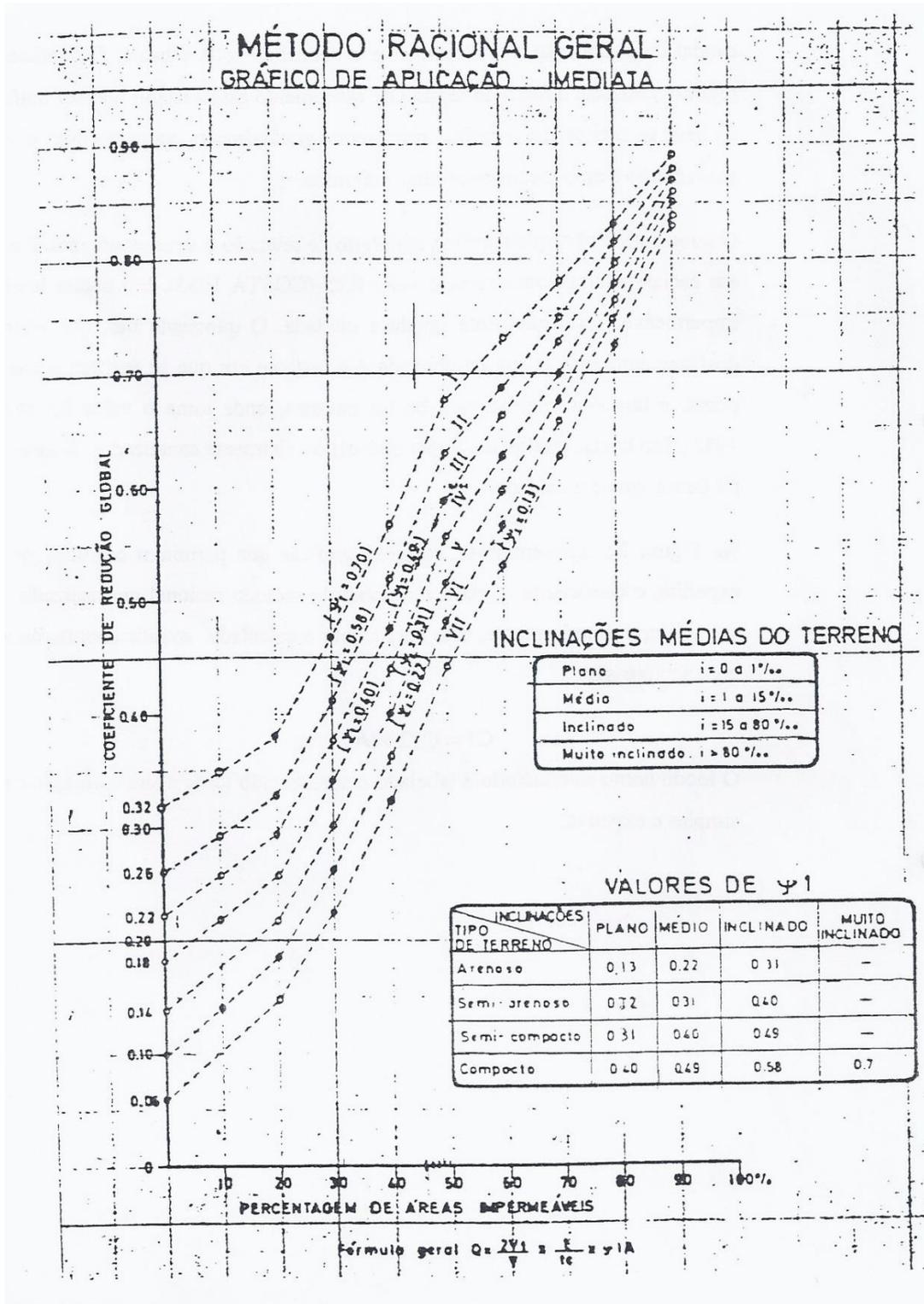


Figura 35 - Cálculo expedito do coeficiente de redução global do método racional generalizado

Analiticamente, este coeficiente é calculado pela seguinte equação:

$$cl = c \left( 2 \frac{vl}{v} \right) \left( \frac{t}{tc} \right) \quad (10)$$

## 5. CASO DE ESTUDO – CAMPUS DA UTAD

Neste capítulo ir-se-á efetuar um caso de estudo, descrevendo-se a metodologia utilizada e os resultados obtidos.

### 5.1. Localização e descrição do campus

O caso de estudo deste trabalho é o campus da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD) situada na cidade de Vila Real no norte do país.

A Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, desde 27 de Maio de 1988, possui um jardim botânico com 120 hectares, atualmente dos maiores da Europa, onde no seu interior se podem observar espécies vegetais vindas de muitos locais. Os jardins botânicos são museus vivos, e o da UTAD abrange terraços e escarpas sobranceiros ao Rio Corgo, integrados na Reserva Ecológica Nacional e Rede Natura 2000. A UTAD é uma instituição focada na sustentabilidade e têm sido desenvolvidos alguns estudos ligados à gestão eficiente dos espaços e recursos de forma a candidatar-se a curto prazo à classificação de Ecocampus.

A UTAD é constituída por cinco escolas: Escola de Ciências Agrárias e Veterinárias, Escola de Ciências Humanas e Sociais, Escola de Ciências e Tecnologia, Escola de Ciências da Vida e do Ambiente e, por fim, a Escola Superior de Enfermagem. Abrange um grande número de edifícios, nomeadamente: nave dos desportos, complexo pedagógico, hangar de agronomia, engenharias 2, ciências florestais, acentos de lavoura, aviário, pocilgas, ovil/novilheiro, vacarias, pavilhão de abate, ciências agrárias, hospital veterinário (HVUTAD), apoio ao hospital veterinário, cantina, restaurante universitário, pavilhão 5, casas da quinta, capela, pavilhão 2, zootécnica, cavalariças, pavilhão 3, oficinas, reprografia, bloco laboratorial, reitoria, serviços, enologia, geociências, biblioteca, engenharias 1, hangar do engenharias 1, apoio à pista de atletismo e por fim desporto.



*Figura 36 - Mapa do campus da UTAD*

## **5.2. Metodologia**

Como já foi referido, na presente dissertação vão analisar-se quais as consequências, em termos de caudais pluviais de escorrência, de uma proposta de substituição de coberturas, zonas de estacionamento, zona pedonal e arruamentos do campus da UTAD de maneira a aumentar a sua permeabilidade. Para isso, foi necessário ter em conta alguns parâmetros como a incidência solar, índices pluviométricos, temperatura do local, ventos dominantes, inclinação e área do telhado/pavimento em estudo e a necessidade de retenção de águas.

Depois de efetuada a devida revisão bibliográfica e analisando as vantagens e desvantagens de cada dispositivo e sistema foi possível propor a solução construtiva que melhor se adaptava cada situação, neste caso de estudo.

Analisados os parâmetros acima referidos, fez-se o levantamento dos edifícios passíveis de sofrerem uma intervenção, tal como, todos os arruamentos, passeios e zonas de estacionamento presentes no campus da UTAD e, com o auxílio do Autocad, mediram-se as respetivas áreas.

Seguidamente, para o cálculo dos caudais pluviais de escorrência usou-se o método racional seguindo-se o seguinte procedimento:

1. Escolha da região pluviométrica;
2. Fixação do período de retorno T;
3. Escolha do tempo de concentração;
4. Consulta das curvas I-D-F para o Território Nacional (Figura 34 e Quadro 3) para a zona em estudo e para o tempo de retorno (T) escolhido retirando os valores de a e b;
5. Determinação do coeficiente de escoamento;
6. Cálculo da intensidade de precipitação seguindo a Fórmula 8;
7. Cálculo dos caudais pluviais em dois cenários através da Fórmula 6:
  - Cenário 1: antes da possível substituição
  - Cenário 2: substituição pela solução escolhida

Por fim, fez-se a análise dos custos inerentes ao cenário 2 e 3, ou seja, a possível substituição das zonas impermeáveis por materiais mais permeáveis.

### **5.3. Apresentação dos resultados**

As soluções construtivas propostas, depois de avaliadas as suas vantagens e inconvenientes, foram as seguintes:

- Coberturas – utilização coberturas ajardinadas do tipo extensiva;
- Estacionamento público – utilização de pavimento poroso com blocos de betão com orifícios verticais ou valas revestidas com coberto vegetal;
- Zona pedonal – utilização de pavimento poroso constituído por paralelepípedos de granito ou sistema de biorretenção;
- Circulação automóvel (arruamentos) – utilização de valas revestidas com coberto vegetal ou faixas filtrantes.

No capítulo que se segue, vai-se tentar mostrar que a possível implementação de coberturas ajardinadas, pavimento porosos, valas revestidas com coberto vegetal, sistemas de biorretenção e faixas filtrantes podem ajudar a resolver problemas associados ao escoamento superficial, apresentando e discutindo os resultados obtidos.

Para uma melhor compreensão dos resultados, dividiu-se este capítulo em quatro sub-capítulos (coberturas, estacionamento público, zona pedonal e circulação automóvel).



*Figura 37 - Figura representativa de todas as coberturas, estacionamento, zona pedonal e arruamentos existentes no campus da UTAD*

**Legenda:**

Coberturas – verde

Estacionamento público – amarelo

Zona pedonal – laranja

Circulação automóvel - cinza

### 5.3.1. Coberturas

Para cada edifício em estudo da UTAD teve-se em conta, como já foi referido, os materiais constituintes de cada cobertura, a sua área e a sua inclinação. Na seguinte Figura 38 sinalizam-se os edifícios selecionados.



Figura 38 - Figura representativa de todas as coberturas da UTAD

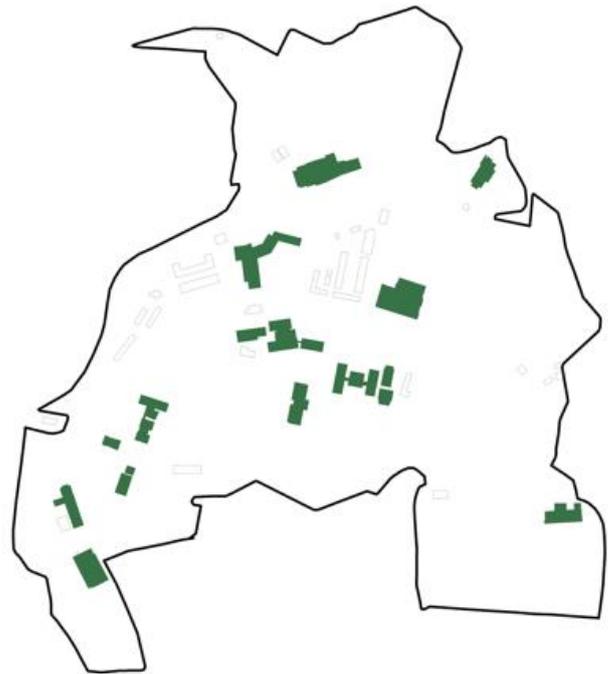


Figura 39 - Figura representativa das coberturas escolhidas para uma possível intervenção

Na tabela 11 indica-se qual a área de cada tipo de material dos edifícios e reconverter:

Tabela 13 - Área correspondente a cada material constituinte das coberturas escolhidas

Material	Total área (m <sup>2</sup> )
Edifícios com cobertura com sistema de revestimento camarinha em zinco	11163.63
Edifícios com cobertura em painel sandwich	5605.41
Edifícios com cobertura de chapa metálica	2157.90

Edifícios com cobertura em fibrocimento	13436.48
Total	32363.42

Os valores dos coeficientes de escoamento escolhidos foram retirados das tabelas anteriormente referidas:

*Tabela 14 - Coeficientes de escoamento escolhidos para cada edifício em estudo*

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de escoamento</b>
Camarinha em zinco	0.85
Painel sandwich	0.85
Chapa metálica	0.85
Fibrocimento	0.85
Verde	0.27

Utilizando a Fórmula 1 obteve-se o seguinte coeficiente de escoamento ponderado:

$$C_{ponderado} = \frac{\sum C_i \times A_i}{\sum A_i} = \frac{0.85 \times 11163.6 + 0.85 \times 5605.41 + 0.85 \times 2157.9 + 0.85 \times 13436.5}{11163.6 + 5605.41 + 2157.9 + 13436.5} = 0.85$$

Para o cálculo dos caudais pluviais de escorrência selecionaram-se os seguintes parâmetros:

1. Região pluviométrica B – Vila Real
2. Período de retorno – 15 anos
3. a = 243.20; b = -0.544
4. Para o cálculo da intensidade de precipitação é necessário saber que este é o valor da intensidade média máxima para uma duração igual ao tempo de concentração, que neste caso vai ser igual a 10 minutos uma vez que a inclinação em estudo é entre os 1.5% e 2%. Seguindo a fórmula 8:

$$I = a \times t^b = 243.20 \times 10^{-0.544} = 69.50 \text{ mm/h} = \frac{69.50}{60} = 1.16 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$$

5. Cálculo dos caudais pluviais e a respetiva redução em termos percentuais para cada cenário:

- Cenário 1: antes da substituição, ou seja, coberturas convencionais

*Tabela 15 - Caudal de escorrência para o cenário 1*

<b>Legenda</b>	<b>C</b>	<b>I (l/min.(m<sup>2</sup>))</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (l/min)</b>
<b>Cenário 1</b>	0.85	1.16	32363.42	31910.3

- Cenário 2: possível substituição por coberturas verdes

*Tabela 16 - Caudal de escorrência para o cenário 2*

<b>Legenda</b>	<b>C</b>	<b>I (l/min.(m<sup>2</sup>))</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (l/min)</b>
<b>Cenário 2</b>	0.27	1.16	32363.42	10136.2

Assim, a percentagem de redução de caudal que se obteve com esta medida foi de 68.2%, presente na Tabela 15:

*Tabela 17 - Tabela resumo com a respetiva percentagem de redução dos diferentes cenários*

<b>Legenda</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>Diferença de caudais</b>	<b>% Redução</b>
Cenário 1	31910.3	21774.1	68.2
Cenário 2	10136.2		

### 5.3.2. Estacionamento público

Os parques de estacionamento são tipicamente zonas muito impermeáveis, no entanto são os locais onde mais facilmente se podem efetuar alterações necessárias, sem que para isso sejam necessários grandes investimentos.

Depois de analisar o local em estudo, campus da UTAD, verificou-se que nem todos os parques de estacionamento existentes são compostos pelos mesmos materiais. Assim sendo, os parques de estacionamento são compostos por: asfalto, betão e calçada.

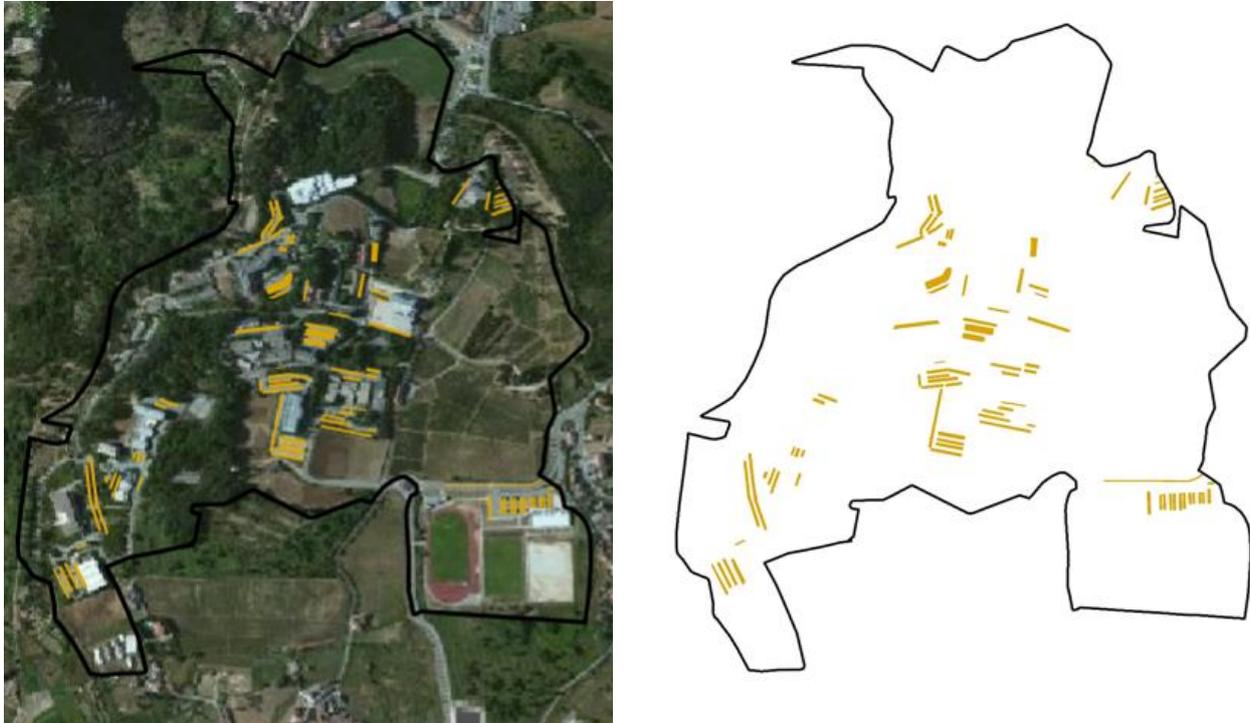


Figura 40 - Figura representativa de todo o estacionamento público presente na UTAD

Na Tabela 16 são referidas as áreas respetivas a cada material:

Tabela 18 - Área correspondente a cada material constituinte do estacionamento na UTAD

<b>Material</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Asfalto	13304.30
Betão	3088.03
Calçada	1420.24
Total	17812.57

A escolha dos coeficientes de escoamento foi feita a partir de tabelas. Uma das soluções para combater a impermeabilização no estacionamento público da UTAD são os pavimentos porosos ou pavimentos permeáveis, e o coeficiente de escoamento escolhido foi segundo Acioli (2005) in Araújo et al. (2000).

Tabela 19 - Coeficientes de escoamento escolhidos para cada material do estacionamento em estudo

Material	Coeficiente de escoamento
Asfalto	0.80
Betão	0.85
Calçada	0.60
Pavimento poroso	0.05
Vala com revestimento de coberto vegetal	0.27

Uma vez que não está presente em nenhuma tabela o coeficiente de escoamento de uma vala com revestimento de coberto vegetal, nem nunca foi estudado, admitiu-se 0.27 (Tabela 4), o das coberturas ajardinadas, pois estas valas são compostas por uma cobertura vegetal semelhante à das coberturas ajardinadas.

Utilizando a Fórmula 1 obteve-se o seguinte coeficiente de escoamento ponderado:

$$C_{ponderado} = \frac{\sum C_i \times A_i}{\sum A_i} = \frac{0.85 \times 13304.30 + 0.80 \times 3088.03 + 0.60 \times 1420.24}{13304.30 + 3088.03 + 1420.24} = 0.793$$

Para o cálculo dos caudais pluviais seguiram-se os passos seguintes:

1. Região pluviométrica B – Vila Real
2. Período de retorno – 15 anos
3.  $a = 243.20$ ;  $b = -0.544$
4. Para o cálculo da intensidade de precipitação é necessário saber que este é o valor da intensidade média máxima para uma duração igual ao tempo de concentração, que neste caso vai ser igual a 8 minutos uma vez que a inclinação em estudo fica entre 1.5% e 8%:

$$I = a \times t^b = 243.20 \times 8^{-0.544} = 78.47 \text{ mm/h} = \frac{78.47}{60} = 1.31 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$$

5. Cálculo dos caudais pluviais e a respetiva redução em termos percentuais para cada cenário:

- Cenário 1: antes da substituição

*Tabela 20 - Caudal de escorrência para o cenário 1*

<b>Legenda</b>	<b>C</b>	<b>I (l/min.(m<sup>2</sup>))</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (l/min)</b>
<b>Cenário 1</b>	0.793	1.31	17812.57	18504.2

- Cenário 2: substituição por um pavimento poroso

*Tabela 21 - Caudal de escorrência para o cenário 2*

<b>Legenda</b>	<b>C</b>	<b>I (l/min.(m<sup>2</sup>))</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (l/min)</b>
<b>Cenário 2</b>	0.05	1.31	17812.57	1166.72

- Cenário 3: substituição, colocando valas revestidas com coberto vegetal nos arredores no parque de estacionamento

*Tabela 22 - Caudal de escorrência para o cenário 3*

<b>Legenda</b>	<b>C</b>	<b>I (l/min.(m<sup>2</sup>))</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Cenário 3</b>	0.27	1.31	17812.57	6300.31

*Tabela 23 - Tabela resumo com a respetiva percentagem de redução dos diferentes cenários*

<b>Legenda</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>Diferença de caudais</b>	<b>% Redução</b>
Cenário 1	18504.2	17337.5	93.7
Cenário 2	1166.7		
Cenário 3	6300.3	12203.9	66

### 5.3.3. Zona pedonal

Em relação à zona pedonal, esta secção pode apresentar áreas bastante impermeáveis, e para acabar com essa problemática, soluções como substituição por um pavimento permeável e sistemas de biorretenção são muito viáveis.

Na figura seguinte estão representados todos os passeios e zonas pedonais presentes no campus da UTAD.

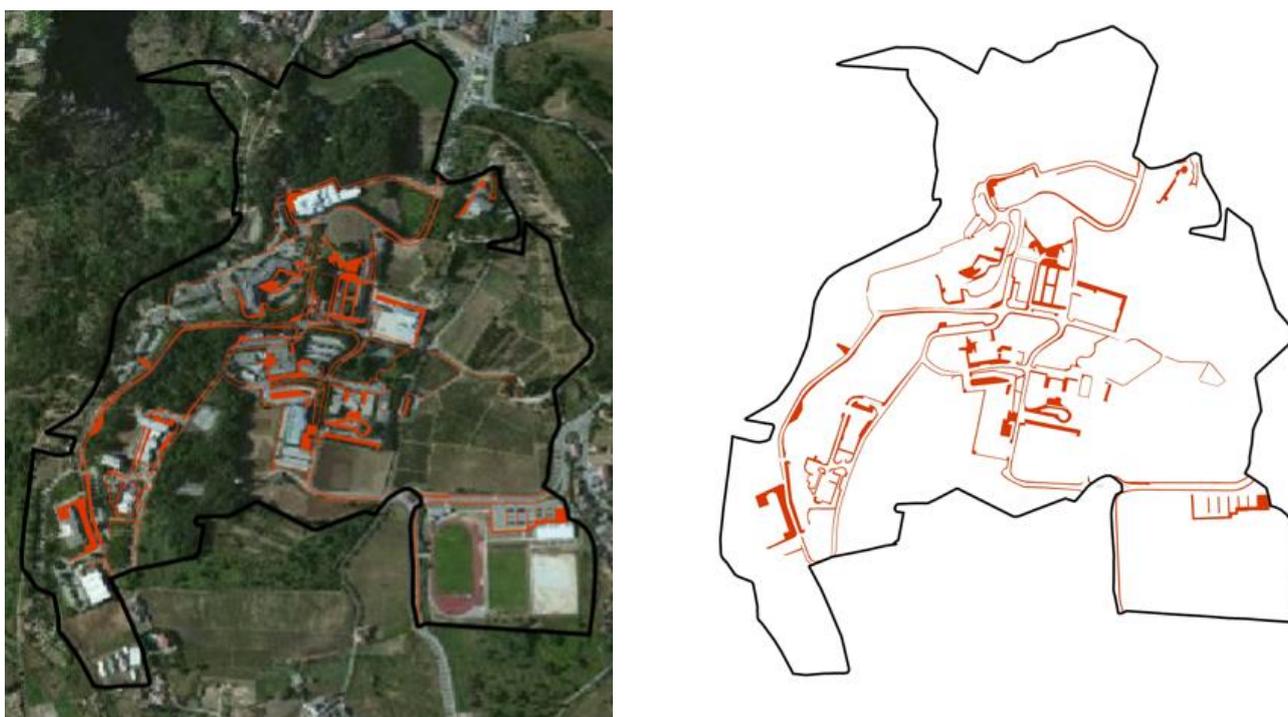


Figura 41 - Figura representativa de toda a zona que pode ser considerada de pedonal da UTAD

É importante referir que na UTAD a zona pedonal é constituída por três tipos de materiais diferentes: betão, asfalto e calçada. Como nem toda a universidade é plana ou tem a mesma inclinação, decidiu-se dividir a zona pedonal em: betão, asfalto e calçada com inclinação inferior a 1.5%, betão, asfalto e calçada com inclinação entre os 1.5% e 8%, e por fim, betão, asfalto e calçada com inclinação superior a 8%. As respetivas áreas estão expressas na próxima Tabela 22.

Tabela 24 - Áreas dos diferentes materiais que constituem a zona pedonal da UTAD

Material	Área (m <sup>2</sup> )
----------	------------------------

---

Betão ( $i < 1.5\%$ )	1620.44
Betão ( $1.5\% < i < 8\%$ )	10823.70
Betão ( $i > 8\%$ )	9310.62
Asfalto ( $i < 1.5\%$ )	-
Asfalto ( $1.5\% < i < 8\%$ )	1325.48
Asfalto ( $i > 8\%$ )	3876.31
Calçada ( $i < 1.5\%$ )	492.32
Calçada ( $1.5\% < i < 8\%$ )	181.62
Calçada ( $i > 8\%$ )	3771.84

---

Na escolha do coeficiente de escoamento teve-se em conta o material constituinte das zonas pedonais em estudo.

As possíveis soluções escolhidas para combater a impermeabilização na zona pedonal do campus da UTAD são as seguintes: aplicação de um pavimento poroso constituído por paralelepípedos de granito e sistemas de biorretenção. Uma vez que os sistemas de biorretenção não têm um coeficiente de escoamento tabelado admitiu-se o das coberturas verdes que é o que se assemelha mais a este sistema. Tal como no estacionamento público, para o pavimento poroso ou pavimento permeável, o coeficiente escolhido tem, segundo Acioli (2005) in Araújo et al. (2000), um valor igual a 0.05.

Posto isto, os coeficientes de escoamento escolhidos estão presentes na seguinte Tabela 23:

Tabela 25 - Coeficientes de escoamento escolhidos para cada material em estudo

Legenda	Coefficientes de escoamento
Betão	0.85
Asfalto	0.80
Calçada	0.60
Pavimento poroso	0.05
Sistemas de biorretenção	0.27

Para o cálculo dos caudais pluviais:

1. Região pluviométrica B – Vila Real
2. Período de retorno – 15 anos
3.  $a = 243.20$ ;  $b = -0.544$
4. Para o cálculo da intensidade de precipitação é necessário saber que este é o valor da intensidade média máxima para uma duração igual ao tempo de concentração, que neste caso vai ser igual a 12 minutos, 8 minutos e 5 minutos:

$$I (i < 1.5\%) = a \times t^b = 243.20 \times 12^{-0.544} = 62.93 \text{ mm/h} = \frac{62.93}{60} = 1.05$$

l/(min.m<sup>2</sup>)

$$I (1.5\% < i < 8\%) = a \times t^b = 243.20 \times 8^{-0.544} = 78.47 \text{ mm/h} = \frac{78.47}{60} = 1.31$$

l/(min.m<sup>2</sup>)

$$I (i > 8\%) = a \times t^b = 243.20 \times 5^{-0.544} = 101.33 \text{ mm/h} = \frac{101.33}{60} = 1.69$$

l/(min.m<sup>2</sup>)

5. Cálculo dos caudais pluviais e a respetiva redução em termos percentuais para cada cenário:

- Cenário 1: antes da substituição

Tabela 26 - Caudal de escorrência para o cenário 1

<b>Material</b>	<b>C</b>	<b>I (l/min.(m<sup>2</sup>))</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (l/min)</b>
Betão (i < 1.5%)	0.85	1.05	1620.44	1446.2
Betão (1.5% < i < 8%)	0.85	1.31	10823.70	12052.2
Betão (i > 8%)	0.85	1.69	9310.62	13374.7
Asfalto (1.5% < i < 8%)	0.80	1.31	1325.48	1389.1
Asfalto (i > 8%)	0.80	1.69	3876.31	5240.8
Calçada (i < 1.5%)	0.60	1.05	492.32	310.2
Calçada (1.5% < i < 8%)	0.60	1.31	181.62	142.8
Calçada (i > 8%)	0.60	1.69	3771.84	3824.7

---

**Total**      37780.7

---

- Cenário 2: substituição por pavimento poroso constituído por paralelepípedos

*Tabela 27 - Caudal de escorrência para o cenário 2*

<b>Material</b>	<b>C</b>	<b>I (l/min.(m<sup>2</sup>))</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (l/min)</b>
Pavimento poroso com $i < 1.5\%$	0.05	1.05	2112.76	110.9
Pavimento poroso com $1.5\% < i < 8\%$	0.05	1.31	12330.80	807.7
Pavimento poroso com $i > 8\%$	0.05	1.69	16958.80	1433.0
			<b>Total</b>	2351.6

---

- Cenário 3: substituição colocando sistemas de biorretenção

Tabela 28 - Caudal de escorrência para o cenário 3

<b>Material</b>	<b>C</b>	<b>I (l/min.(m<sup>2</sup>))</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (l/min)</b>
Sistema de biorretenção com  i < 1.5%	0.27	1.05	2112.76	599.0
Sistema de biorretenção com  1.5 % < i < 8%	0.27	1.31	12330.80	4361.4
Sistema de biorretenção com  i > 8%	0.27	1.69	16958.80	7738.3
			<b>Total</b>	12698.7

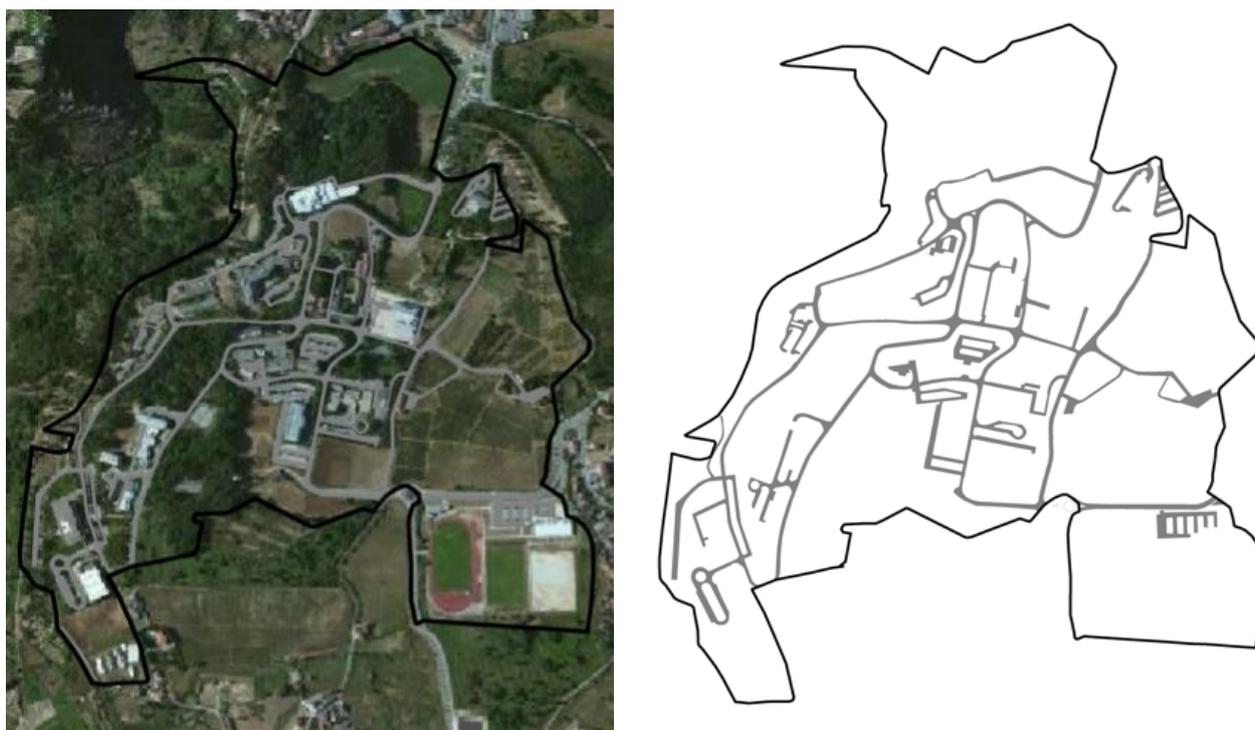
Tabela 29 - Tabela resumo com a respetiva percentagem de redução dos diferentes cenários

<b>Legenda</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>Diferença de caudais</b>	<b>% Redução</b>
Cenário 1	37780.7	35429.1	93.8
Cenário 2	2351.6		
Cenário 3	12698.7	25082.0	66.4

### 5.3.4. Circulação automóvel (arruamentos)

Para reduzir as superfícies impermeáveis nos arruamentos pode-se recorrer frequentemente a florestação urbana. Em alternativa ou como complemento do sistema tradicional de tubagens podem ser usadas valas de infiltração e faixas filtrantes, que foram as soluções propostas para esta secção.

Depois de se analisar todo o campus da UTAD, verificou-se que todos os arruamentos são revestidos do mesmo material, betuminoso, e a área correspondente é igual a 71246.66 m<sup>2</sup>. Uma vez que nem todos os arruamentos têm a mesma inclinação, para uma melhor compreensão dos cálculos, dividiu-se as zonas de circulação automóvel da seguinte maneira: arruamentos com inclinação inferior que 1.5%, arruamentos com inclinação entre 1.5% e 8% e arruamentos com inclinação superior a 8%.



*Figura 42 - Figura representativa de toda a zona automóvel no campus da UTAD*

Na tabela X estão presentes as áreas dos arruamentos para as diferentes inclinações:

Tabela 30 - Áreas de toda a circulação automóvel da UTAD

<b>Legenda</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Arruamentos com $i < 1.5\%$	5141.69
Arruamentos em que $1.5\% < i < 8\%$	25290.98
Arruamentos com $i < 8\%$	40813.99

Na escolha do coeficiente de escoamento teve-se em consideração que o material que compõe os arruamentos do campus da UTAD é asfalto. Posto isto, o coeficiente de escoamento a escolher está presente na Tabela 7 e tem o valor de 0.80.

Uma vez que as faixas filtrantes também não têm um coeficiente de escoamento tabelado, tal como as valas, admitiu-se o das coberturas verdes que é o que se assemelha mais e é igual a 0.27.

Tabela 31 - Coeficientes de escoamento para cada material em estudo

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de escoamento</b>
Asfalto	0.80
Valas com revestimento de coberto vegetal	0.27
Faixas filtrantes	0.27

Para o cálculo dos caudais pluviais de escorrência foram seguidos estes passos:

1. Região pluviométrica B – Vila Real
2. Período de retorno – 15 anos
3.  $a = 243.20$ ;  $b = -0.544$
4. Para o cálculo da intensidade de precipitação é necessário saber que este é o valor da intensidade média máxima para uma duração igual ao tempo de

concentração, que neste caso vai ser igual a 12 minutos, 8 minutos e 5 minutos:

$$I (i < 1.5\%) = a \times t^b = 243.20 \times 12^{-0.544} = 62.93 \text{ mm/h} = \frac{62.93}{60} = 1.05 \text{ l/(min.m}^2\text{)}$$

$$I (1.5\% < i < 8\%) = a \times t^b = 243.20 \times 8^{-0.544} = 78.47 \text{ mm/h} = \frac{78.47}{60} = 1.31 \text{ l/(min.m}^2\text{)}$$

$$I (i > 8\%) = a \times t^b = 243.20 \times 5^{-0.544} = 101.33 \text{ mm/h} = \frac{101.33}{60} = 1.69 \text{ l/(min.m}^2\text{)}$$

5. Cálculo dos caudais pluviais e a respetiva redução em termos percentuais para cada cenário:

- Cenário 1: antes da substituição

*Tabela 32 - Caudal de escorrência para o cenário 1*

<b>Legenda</b>	<b>C</b>	<b>I (l/min.(m<sup>2</sup>))</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (l/min)</b>
Estrada com i < 1.5%	0.80	1.05	5141.69	4319.02
Estradas em que 1.5% < i < 8%	0.80	1.31	25290.98	26504.90
Estradas com i < 8%	0.80	1.69	40813.99	55180.50
			<b>Total</b>	86004.4

- Cenário 2: substituição colocando valas revestidas com coberto vegetal a acompanhar as estradas

*Tabela 33 - Caudal de escorrência para o cenário 2*

<b>Legenda</b>	<b>C</b>	<b>I (l/min.(m<sup>2</sup>))</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (l/min)</b>
Estrada com i < 1.5%	0.27	1.05	5141.69	1457.67
Estradas em que 1.5% < i < 8%	0.27	1.31	25290.98	8945.42
Estradas com i < 8%	0.27	1.69	40813.99	18623.40
			<b>Total</b>	29026.5

- Cenário 3: substituição colocando faixas filtrantes entre a estrada e o passeio

*Tabela 34 - Caudal de escorrência para o cenário 3*

<b>Legenda</b>	<b>C</b>	<b>I (l/min.(m<sup>2</sup>))</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (l/min)</b>
Estrada com i < 1.5%	0.27	1.05	5141.69	1457.67
Estradas em que 1.5% < i < 8%	0.27	1.31	25290.98	8945.42
Estradas com i < 8%	0.27	1.69	40813.99	18623.40
			<b>Total</b>	29026.5

*Tabela 35 - Tabela resumo com a respetiva percentagem de redução dos diferentes cenários*

<b>Legenda</b>	<b>Q (l/min)</b>	<b>Diferença de caudais</b>	<b>% Redução</b>
Cenário 1	86004.4	56977.9	66.3
Cenário 2	29026.5		
Cenário 3	29026.5	56977.9	66.3

#### **5.4. Análise e discussão dos resultados**

Relativamente às coberturas, como se esperava, com a substituição das coberturas convencionais dos edifícios escolhidos da UTAD por coberturas ajardinadas, verificou-se uma significativa redução do caudal pluvial de escorrência, precisamente de 68.2%. Esta redução deve-se ao facto das coberturas ajardinadas armazenam grande parte da precipitação libertando-a, posteriormente, para a atmosfera por evapotranspiração.

No que respeita o estacionamento público do campus da UTAD, o primeiro cenário, em que se propunha a substituição dos pavimentos existentes por um pavimento permeável de blocos de betão com orifícios verticais, verificou-se uma redução de 93.7% do caudal pluvial de escorrência, quantidade bastante significativa. Esta redução deve-se ao facto de esta solução possuir uma maior capacidade de redução do escoamento das águas superficiais relativamente aos pavimentos tradicionais. No segundo cenário, que contempla a implementação de valas revestidas com coberto vegetal junto das áreas de estacionamento, constatou-se uma redução do caudal pluvial de 66%, devido à existência de dispositivos que têm como primordial função a recolha e retenção de águas pluviais de escorrência, transportando-as de seguida a velocidades reduzidas e, proporcionando desta forma, uma elevada taxa de infiltração.

Na zona pedonal, no cenário que consistia na substituição de todo o pavimento por um pavimento poroso, verificou-se uma percentagem de redução de 93.8%. Esta percentagem é bastante alta, o que prova que a substituição por um pavimento poroso é uma prática excelente em termos de absorção do caudal pluvial de escorrência. No que se refere à segunda solução, aplicação de sistemas de biorretenção, o que também confirma que este

dispositivo é muito vantajoso no que diz respeito à redução do caudal de escorrência proporcionando benefícios a nível ambiental, paisagístico e económico.

Quanto à zona de circulação automóvel no campus da UTAD, as soluções apresentadas foram duas: valas revestidas com coberto vegetal a acompanhar as estradas e faixas filtrantes. As valas apresentaram uma percentagem de redução do caudal pluvial de escorrência de 66.3% pelas razões que já foram mencionadas para o caso do estacionamento público. As faixas filtrantes apresentaram a mesma percentagem de redução de caudal, 66.3%, pois utilizou-se o mesmo coeficiente de escoamento, como já foi referido e justificado acima. Esta técnica das faixas filtrantes é bastante eficiente e tem dupla função, melhorar a qualidade das águas pluviais retendo os sedimentos e, também, reduzir o volume de escorrência superficial gerado pelas chuvadas.

Numa perspetiva geral, sistemas como as coberturas verdes, pavimentos porosos, valas revestidas com coberto vegetal, sistemas de biorretenção e faixas filtrantes, são técnicas potencialmente benéficas, sob diversos aspetos, em meio urbano e são um excelente sistema para reter águas pluviais e evitar impactes negativos como por exemplo as cheias urbanas.

## 4. ORÇAMENTAÇÃO

Neste capítulo, fez-se uma análise de custos de todas as soluções construtivas propostas recorrendo a preços fornecidos por empresas especialistas na área.

É importante referir, que todas as espessuras que não constavam nas figuras constantes da bibliografia para cada uma das soluções apresentadas no capítulo “MEDIDAS DE REDUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO”, foram adotadas.

### 4.1. Coberturas

Em relação às coberturas, como já foi referido, a solução proposta para a redução do escoamento superficial no campus da UTAD foi a execução de coberturas ajardinadas extensivas. Contactou-se a empresa Neoturf especialista em espaços verdes e coberturas ajardinadas/ecológicas, para obter o preço, por metro quadrado, de uma cobertura ajardinada extensiva que varia entre os 40€ e os 80€. Este preço já inclui mão-de-obra e toda a maquinaria necessária para executar uma cobertura verde.

### 4.2. Estacionamento público

As propostas, relativamente ao estacionamento público na UTAD, para a substituição do pavimento impermeabilizante existente foram duas: pavimento poroso e colocação de valas revestidas com coberto vegetal. Consultadas várias empresas tais como a Mlsp, Construções, Lda, NCX – Construção, Engenharia e Gestão, Lda, Grass4you, e considerando os seguintes aos preços unitários fornecidos para os materiais e respetivo fator de conversão (peso específico de cada material para, nestes casos, passar de tonelada para metro cúbico) obtiveram-se os seguintes orçamentos:

- Pavimento poroso

Estes preços e respetivos fatores de conversão foram dados pela Mlsp, Construções, Lda, e com isso, obteve-se o seguinte orçamento:

Tabela 36 - Orçamento relativo a um pavimento poroso

Pavimento poroso				€/m2
Quantidade	Unidade	Recursos	Custos	
			Unitários	Totais
0.1	m3	Mistura Betuminosa do tipo PA 12,50 PMB 45/80-65 (BB-d) (PA=asfalto Poroso) - esp. 10cm	141.45 €	14.15 €
0.05	m3	Gravilha 6/14mm - esp. 5cm	8.30 €	0.42 €
0.06	m3	Brita 32/63 mm - esp. 6cm	6.72 €	0.40 €
0.025	m3	Gravilha 6/14mm - esp. 2.50cm	8.30 €	0.21 €
1	m2	Manta Geotêxtil - 250g/m2	0.73 €	0.73 €
Custo da Operação sem lucro				15.90 €
Custo da Operação com lucro			0.00%	0.00 €
<b>Custo Total da Operação</b>				<b>15.90 €</b>

Tabela 37 - Fatores de conversão dos materiais

Material	Preço Unitário Fornecedor	Preço Unit c/ iva	Un	Peso / fator conversão	un
Mistura betuminosa (10 cm)	50.00 €	61.50 €	/ton	2.3	ton/m3
Gravilha (5 cm)	5.00 €	6.15 €	/ton	1.35	ton/m3
Brita (6 cm)	4.20 €	5.17 €	/ton	1.3	ton/m3
Gravilha (2.5 cm)	5.00 €	6.15 €	/ton	1.35	ton/m3
Manta Geotêxtil	0.59 €	0.73 €	/m2		

- Valas revestidas com coberto vegetal

Em relação à vala, os preços foram fornecidos pela Mlsp, Construções, Lda e o preço da vegetação (relva) foi dado pela Grass4you.

Tabela 38 - Orçamento relativo a uma vala revestida com coberto vegetal

Vala revestida com coberto vegetal				€/m2
Execução de uma vala revestida com coberto vegetal com dreno em PP corrugado ranhurado de Ø125mm, envolvido em material granular e manta geotextil. (de secção drenante - 0,5x2x1m) e vegetação				
Quantidade	Unidade	Recursos	Custos	
			Unitários	Totais
2	m	Dreno pvc corrug. Ø125	2.28 €	4.55 €
4.8	m2	Manta geotêxtil	0.73 €	3.50 €
0.68	m3	Brita 32/63 mm	6.72 €	4.57 €
1	m2	Vegetação (relva)	3.50 €	3.50 €
Custo da Operação sem lucro				16.12 €
Custo da Operação com lucro			0.00%	0.00 €
<b>Custo Total da Operação</b>				<b>16.12 €</b>

Tabela 39 - Fatores de conversão dos materiais

Material	Preço Unitário Fornecedor	Preço Unit c/ iva	Un	Peso / fator conversão	un
Manta Geotêxtil	0.59 €	0.73 €	m2		
Brita	4.20 €	5.17 €	/ton	1.3	ton/m3

### 4.3. Zona Pedonal

As soluções propostas para a zona pedonal de maneira a acabar com as áreas impermeabilizadas foram: pavimento poroso e sistemas de biorretenção. O orçamento do pavimento poroso já foi indicado no ponto anterior. Consultando algumas empresas consideraram-se os seguintes aos preços unitários dos materiais e o respetivo fator de conversão obtendo-se os seguintes orçamentos:

- Sistemas de biorretenção

O orçamento dos sistemas de biorretenção foi dado por várias entidades. O preço de todas as plantas utilizadas foi retirado dos Viveiros Alfredo Moreira da Silva & Filhos, Lda. Os preços do solo orgânico e da areia foram dados pela NCX – Construção, Engenharia e Gestão, e, por fim, o preço da manta geotêxtil e a brita foi fornecido pela Mlsp, Construções, Lda.

Tabela 40 - Orçamento relativo a um sistema de biorretenção

Sistema de biorretenção				€/m2
Quantidade	Unidade	Recursos	Custos	
			Unitários	Totais
1		Arbusto (tam. 15/20)	2.80 €	2.80 €
1		Herbácea	1.00 €	1.00 €
1		Ornamental (tam. 20/30)	10.00 €	10.00 €
1		Árvore (tam. 8/10)	19.00 €	19.00 €
4	un	Vegetação total		32.80 €
0.05	m3	Solo orgânico (terra preta) - esp. 5 cm	18.00 €	0.90 €
0.06	m3	Areia - esp. 6cm	14.50 €	0.87 €
1	m2	Manta Geotêxtil - 250g/m2	0.73 €	0.73 €
0.1	m3	Brita 32/63 mm - esp. 10 cm	6.72 €	0.67 €
Custo da Operação sem lucro				35.97 €
Custo da Operação com lucro				0.00%
<b>Custo Total da Operação</b>				<b>35.97 €</b>

Tabela 41 - Fatores de conversão dos materiais

Material	Preço Unitário Fornecedor	Preço Unit c/ iva	Un	Peso / fator conversão	Un	Preço Unit	Un
Manta Geotêxtil	0.59 €	0.73 €	m2				
Brita (10 cm)	4.20 €	5.17 €	/ton	1.3	ton/m3	6.72 €	/m3

#### 4.4. Circulação automóvel

No que às zonas de circulação automóvel, as propostas apresentadas foram as valas revestidas com coberto vegetal e as faixas filtrantes. Os custos associados à colocação da vala revestida com coberto vegetal já foram apresentados no ponto “Estacionamento público”. Quanto à faixa filtrante, este é um conceito bastante recente e ainda não foi aplicado em Portugal. Das pesquisas efetuadas, conclui-se que é uma técnica bastante recente não havendo muita informação relativamente às camadas e materiais que a constituem. Desta forma não foi feita uma análise de custos relativamente à solução da faixa filtrante.

Tabela 42 - Custos finais de cada solução proposta

Legenda	Custo (€/m <sup>2</sup> )	Área Total (m <sup>2</sup> )	Custo Final (€)
Coberturas ajardinadas	60 *	32363.42	1941805.2
Pavimentos porosos	15.90	49214.90	782516.9
Valas	16.12	89059.20	1435634.3
Sistemas de biorretenção	35.97	31402.10	1129544.3

\*mão-de-obra incluída

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHO FUTURO

O aumento do escoamento superficial constitui a principal questão da drenagem urbana. O aumento da impermeabilização dos solos como consequência do desenvolvimento urbano, altera significativamente o escoamento superficial, agravando os caudais gerados na bacia hidrográfica.

Neste sentido, os sistemas de gestão e de controlo das águas pluviais assumem uma grande importância no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável das cidades.

Nesta dissertação, foram analisados alguns mecanismos associados à gestão de caudais pluviais, como: valas revestidas com coberto vegetal, bacias de retenção, trincheiras de infiltração, pavimentos porosos, bacias de infiltração, faixas filtrantes, caldeiras, poços de infiltração, sistemas de biorretenção e coberturas ajardinadas.

A análise das tecnologias estudadas visa resolver os problemas associados aos caudais pluviais excessivos e também aprofundar o estudo e o âmbito de aplicação de coberturas ajardinadas, pavimentos porosos, valas revestidas com coberto vegetal, sistemas de biorretenção e faixas filtrantes, de maneira a obter uma perspetiva abrangente das suas possibilidades e potencialidades.

Durante esta dissertação ficou demonstrado que embora estas tecnologias estejam frequentemente relacionadas com a preservação e melhoria da qualidade do meio ambiente, essa não é a única razão para a sua utilização. Todas elas atuam em diversos campos: no ecológico, no ambiental, no económico, no da saúde e no da sustentabilidade. O que ficou demonstrado é que os benefícios existem, pelo menos no que diz respeito à retenção de parte das águas pluviais de modo a por fim às cheias urbanas.

A aplicação destes sistemas apresentam algumas limitações relacionadas principalmente com a falta de legislação que os regule e também, com a falta de informação e divulgação de algumas tecnologias como, por exemplo, as faixas filtrantes. Isto deve-se ao facto de algumas destas soluções serem ainda relativamente novas e ainda não terem sido utilizadas em Portugal.

Em termos gerais, não existe um projeto específico para este tipo de tecnologias, e seria bastante importante e interessante que se desenvolvesse um documento técnico sobre as

soluções de mitigação de caudais pluviais de escorrência e que se produzisse alguma legislação conducente à sua aplicação.

Para investigações futuras, uma vez que não se obteve resposta por parte de entidades especializadas no tipo de materiais que constituem as coberturas, zonas de estacionamento, zonas pedonais e arruamentos atuais da UTAD, era importante voltar a contactá-las de maneira a conseguir um custo para posterior comparação de análise de custos com as soluções propostas.

Por último, focando a questão importante do ambiente, era relevante concretizar uma estimativa de custos ambientais, pois são os gastos relacionados direta ou indiretamente com a proteção do meio ambiente.

---

## BIBLIOGRAFIA

- Acioli, L. A. (2005). *Estudo experimental de pavimentos permeáveis para controle do escoamento superficial na fonte*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.
- Alessandro Hirata Lucas, L. A. (2015). Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil. Rio de Janeiro: Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Alfeu Sá Marques, A. M. (2005). *Cheias Urbanas: a zona de intervenção do Programa Polis Coimbra*. Coimbra.
- Almeida, T. M. (2014). *Revestimento de fachadas e coberturas com chapas de zinco e cobre*. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto - Mestrado em Engenharia Civil.
- Araújo, I. M. (2013). *Estratégias de mitigação do risco de cheia aplicadas ao estudo de caso da ribeira da Laje no concelho de Oeiras*. Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto - Arquitetura Paisagista.
- Arezes, L. D. (2015). *Gestão Sustentável de Águas Pluviais em Ambiente Urbano*. Guimarães: Universidade do Minho - Mestrado em Engenharia Civil.
- Castelo-Branco, M. A. (2012). *Coberturas Ajardinadas: Influência dos Substratos na Gestão de Águas Pluviais*. Lisboa: Técnica de Lisboa - Mestrado em Engenharia de Sistemas Bioenergéticos.
- Correia, Francisco Nunes (1984<sup>b</sup>) - *Proposta de um método para a determinação de caudais de cheia em pequenas bacias naturais e urbanas.* Lisboa: LNEC
- Council, A. (s.d.). Swales and Filter Strips - Construction Guide.
- Daniela Cappellesso Mangoni, M. d. (Maio de 2010). VI Seminário Latino de Geografia Física. *Estimativa do coeficiente de escoamento superficial "c" da unidade hidrográfica do lago de Paranoá, utilizando imagem de média resolução especial (ALOS)*. Coimbra.

Diogo, A. M. (1993). *Conceção e dimensionamento de redes de drenagem de águas residuais comunitárias pluviais*. Coimbra: Universidade de Coimbra.

GRASS4YOU. (s.d.). Obtido de <http://www.grass4you.com/>.

<http://cobec.com.br/sistema-de-biorretencao-pluvial-pode-ajudar-a-combater-enchentes/>.

(s.d.). Obtido de [cobec.com.br](http://cobec.com.br).

[http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF\\_Jardins-de-Chuva-print-digital.pdf](http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF_Jardins-de-Chuva-print-digital.pdf). (s.d.). Obtido de [solucoesparacidades.com.br](http://solucoesparacidades.com.br).

<http://www.engenhariaeconstrucao.com/2011/07/vantagens-e-desvantagens-das-coberturas.html>. (25 de Julho de 2011). Obtido de Engenharia e Construção.

<http://www.neoturf.pt/pt/coberturas-ajardinadas>. (s.d.). Obtido de Neoturf.

<http://www.pvpc.org/sites/default/files/files/PVPC-Tree%20Box%20Filters.pdf>. (s.d.). Obtido de [pvpc.org](http://www.pvpc.org).

<http://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/filtration/filter-strips.html>. (s.d.). Obtido de [susdrain.org](http://www.susdrain.org).

infrastructure, G. (s.d.). <http://www.pvpc.org/sites/default/files/files/PVPC-Tree%20Box%20Filters.pdf>. Obtido de [pvpc.org](http://www.pvpc.org).

Katie Swartz, G. B. (2010). *Low Impact Development Manual for the Lower Maumee and Ottawa River Watersheds*. Toledo.

Katie Swartz, G. B. (2010). *Low Impact Development Manual for the Lower Maumee and Ottawa River Watersheds*. Toledo.

Lourenço, R. (2014). *Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis*. Coimbra: Instituto Superior de Engenharia de Coimbra - Especialização em Construção Urbana.

Martins, F. J. (2000). *Dimensionamento Hidrológico e Hidráulico de Passagens Inferiores Rodoviárias para Águas Pluviais*. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra - Especialidade de Hidráulica e Recursos Hídricos.

- Matias, M. G. (2006). *Bacias de retenção - Estudo de métodos de dimensionamento*. Porto: Faculdade de Engenharia do Porto - Especialidade em Vias de Comunicação.
- Matos, J. M. (2000/2001). Saneamento ambiental II. Lisboa: Instituto Superior Técnico de Lisboa - Sistemas de drenagem.
- Melo, T. d. (2011). *Jardim de Chuva: Sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco - Tecnologia Ambientale Recursos Hídricos.
- Mlsp, Construções, Lda. Paredes.
- NCX - Construção, Engenharia e Gestão, Lda. Valpaços.
- Neoturf. Porto.
- Oliveira, N. N. (2008). *Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis de próprios da educação da rede municipal de Guarulhos*. Guarulhos: Universidade Guarulhos .
- Padrão, V. M. (2016). *Redes de Drenagem de Águas Pluviais - A integração e o desenvolvimento de órgãos acessórios*. Porto: Faculdade de Engenharia do Porto - Especialização em Hidráulica.
- Palha, P. (5 de Abril de 2016). Infraestruturas Verdes.
- Paulo Roberto de Araújo, C. T. (2000). Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. Porto Alegre: RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos - Volume 5 n.3.
- Pinto, C. I. (2014). *Introdução às Coberturas Ajardinadas*. Porto: Faculdade de Engenharia do Porto - Especialização em Construções.
- Portela, M. M. (2005/2006). *Modelação Hidrológica*. Instituto Superior Técnico.
- Raposo, F. M. (2013). *Manual de boas práticas de coberturas verdes - Análise de casos de estudo*. Lisboa: Técnico de Lisboa - Mestrado em Construção e Reabilitação .

Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais. (23 de Agosto de 1995).

Revez, I. (2016). Albufeira investe 15 milhões num túnel par se defender contra as cheias. *Público*.

Ricardo Prado Abreu Reis, L. H. (2008). *Sistemas de drenagem na fonte por poços de infiltração de águas pluviais*. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

Santos, J. P. (2010). *Gestão de Águas Pluviais Urbanas: Mudança do Paradigma nos Sistemas Públicos de Drenagem*. Porto: Faculdade de Engenharia do Porto - Mestrada em Engenharia do Ambiente.

Silva, N. d. (2011). *Telhado verde: Sistema Construtivo de maioreficiência e menor impacto ambiental*. Minas Gerais: Escola de Engenharia - Curso de Especialização em Construção Civil.

Tássia dos Anjos Tenório de Melo, A. P. (2014). *Jardim de chuva: sistemas de biorretenção para o manejo das águas pluviais*. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

Tomaz, P. (2003). *Aproveitamento da água da chuva para áreas urbanas e fins não potáveis*. Navegar editora.

Tomaz, P. (2009). *Pavimento poroso*. Curso de Manejo de águas pluviais.

*utadjardimbotânico*. (s.d.). Obtido de <http://jb.utad.pt/jardim>.

*Viveiros Alfredo Moreira da Silva & Filhos, Lda*. (s.d.). Obtido de <http://www.alfredomoreiradasilva.com/gestor/catalogo.php>.

Watershed Management Services. (s/ data). *A How-To Manual for Homeowners in the Municipality of Anchorage*. Municipality of Anchorage, Anchorage.

