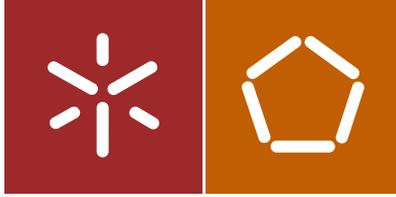




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Susana Manuela Sousa da Cruz

Contribuição para a avaliação de técnicas de aproveitamento de água da chuva em comunidades urbanas



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Susana Manuela Sousa da Cruz

Contribuição para a avaliação de técnicas
de aproveitamento de água da chuva em
comunidades urbanas

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Maria Manuela Carvalho de
Lemos Lima

AGRADECIMENTOS

Face ao culminar desta etapa, surge a necessidade de prestar o meu agradecimento a todas as pessoas que, de alguma forma, deram o seu contributo e sem as quais este objetivo não seria atingido.

Em primeiro lugar, quero expressar a minha profunda gratidão à minha orientadora, Professora Doutora Maria Manuela C. L. Lima, pelo privilégio que me concedeu de trabalhar sob a sua orientação, pela pronta disponibilidade e simpatia com que sempre me recebeu, pela compreensão e apoio em todos os momentos e pelos conhecimentos e sugestões fornecidos, que me foram guiando e tornaram o desenvolvimento desta dissertação possível.

Em segundo lugar, agradeço à Universidade do Minho, instituição que me acolheu, particularmente a todos os professores que integram o corpo docente do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, pelos conhecimentos transmitidos e que foram fulcrais para a minha formação.

Em terceiro lugar, quero agradecer o apoio dos meus amigos, especialmente à Rita por estar presente em todos os momentos, pela confiança que sempre depositou em mim, pelos bons momentos proporcionados e por continuar a ser uma amiga maravilhosa ao longo de todos estes anos.

Por último, mas não menos importante, presto a mais sincera gratidão aos meus pais e irmã, pela dedicação, pelo carinho e pelas palavras reconfortantes com que sempre me brindaram. Agradeço também a paciência e compreensão ao longo de todo o meu percurso académico.

RESUMO

Nas últimas décadas o crescimento populacional acelerado, aliado à progressiva impermeabilização de áreas inicialmente com características rurais, tem originado um significativo decréscimo da capacidade de infiltração das águas no solo, que tem como consequência direta o incremento do volume de água pluvial afluente à rede de drenagem. Esta realidade tem acarretado grandes modificações no ciclo hidrológico natural, conduzindo à ocorrência de situações de risco que chegam a pôr em causa a vivência humana.

A presente dissertação dedica-se à avaliação de técnicas de aproveitamento de águas pluviais em comunidades urbanas e da forma como estas podem atuar como medida de mitigação de fenómenos de cheias e inundações. Neste contexto, caracterizam-se nove técnicas de aproveitamento de água da chuva em comunidades urbanas, identificando os seus princípios de funcionamento, benefícios e inconvenientes.

Recorrendo a parâmetros de classificação que englobam as vertentes técnica, económica, ambiental e social, realizou-se uma análise comparativa através de uma matriz que permitiu aferir a relação de benefício entre cada uma das técnicas e os critérios definidos, possibilitando uma avaliação das técnicas mais vantajosas sob cada um dos pontos de vista.

Posteriormente definiu-se um caso de estudo situado numa comunidade urbana pertencente ao concelho de Braga para implantação das técnicas de aproveitamento de águas pluviais mais vantajosas, em quatro cenários distintos, sendo que cada um deles está estreitamente relacionado com cada um dos parâmetros de comparação. Desta forma, foi possível avaliar os benefícios que adveem da implantação de cada uma delas num contexto real.

As técnicas de aproveitamento de água da chuva revelam-se, assim, como medidas de implantação fulcrais em comunidades urbanas para a promoção da reutilização da água da chuva em diversos fins, para o aumento da taxa de infiltração da água com uma menor carga poluente, assim como para a atenuação dos picos de cheia devido à capacidade de retenção.

Palavras-chave: Avaliação de técnicas de aproveitamento de águas pluviais; Drenagem urbana; Reutilização de água da chuva.

ABSTRACT

Trough the last decades, the population growth, associated with the increasing of waterproofing of rural areas, has led to a significant decrease of the water infiltration capacity trough the soil. This way, the volume of rainwater affluent to the drainage network is naturally suffering an increase. This situation has led to many changes in the natural hydrological cycle, leading to situations that can put in risk human lifes or their well being.

This dissertation is dedicated to the evaluation of different rainwater harvesting techniques in urban communities and also to the wat they can be used as a mitigation measure for flood situations. In order to understand the benefits, disadvantages and their way of operating, nine of the rainwater harvesting techniques in urban communities are characterized and studied in this work.

By using a classification matrix that includes the technical, economic, environmental and social aspects, a comparative analysis was carried out through the relationship between each of the techniques and the defined criteria. Therefore, it was possible to make an evaluation of the most advantageous techniques, from each point of view.

Subsequently, a case study was set up in an urban community, located in Braga, in order to implement the most advantageous rainwater harvesting techniques, in four different scenarios, each of which is closely related to each of the parameters of comparison. This way, it was possible to evaluate the benefits that come from the implementation of each of them in a real context.

Thus, rainwater harvesting techniques are seen as serious measures in urban communities to promote the use of rainwater for various uses, to increase the rate of water infiltration in soils with a lower pollutant load, as well as measures for the attenuation of the flood maximum flow rates due to their retention capacity.

Keywords: Evaluation of rainwater harvesting techniques; Rainwater harvesting; Urban drainage systems.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Estrutura da dissertação	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. A importância do aproveitamento da água	7
2.2. Conceito de aproveitamento de água da chuva.....	9
2.3. Legislação para a qualidade da água recolhida.....	10
2.4. História do aproveitamento de água da chuva	15
2.5. Benefícios <i>versus</i> inconvenientes do aproveitamento de água da chuva.....	22
3. TÉCNICAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA EM COMUNIDADES URBANAS	27
3.1. Efeitos do aumento da impermeabilização do solo na drenagem de água pluvial.....	27
3.2. Medidas de mitigação de situações de cheias e inundações	30
3.3. Classificação das técnicas de aproveitamento de água da chuva em meio urbano.....	33
3.3.1. Técnicas locais de controlo na origem	33
3.3.2. Técnicas lineares de controlo na origem	33
3.3.3. Técnicas de controlo centralizado	34
3.3.4. Técnicas de tratamento de efluentes pluviais.....	34
3.4. Descrição das principais técnicas de aproveitamento de água da chuva em comunidades urbanas	35
3.4.1. Coberturas verdes.....	35
3.4.2. Poços de infiltração	42
3.4.3. Microrreservatórios	45
3.4.4. Pavimentos permeáveis	50
3.4.5. Trincheiras de infiltração	57
3.4.6. Faixas relvadas	62
3.4.7. Bacias de retenção.....	65
3.4.8. Bacias de infiltração	69
3.4.9. Sistemas de biorretenção.....	70

4. ANÁLISE MATRICIAL COMPARATIVA DAS TÉCNICAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA.....	73
4.1. Parâmetros de comparação entre as principais técnicas	73
4.1.1. Parâmetros técnicos	74
4.1.2. Parâmetros económicos	74
4.1.3. Parâmetros ambientais	75
4.1.4. Parâmetros sociais	76
4.2. Matriz de comparação	77
4.3. Análise de resultados.....	79
4.3.1. Parâmetros técnicos	79
4.3.2. Parâmetros económicos	80
4.3.3. Parâmetros ambientais	81
4.3.4. Parâmetros sociais	82
5. APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO	85
5.1. Descrição do caso de estudo.....	86
5.2. Definição dos cenários	87
5.2.1. Cenário 1: maior benefício técnico.....	87
5.2.2. Cenário 2: maior benefício económico.....	87
5.2.3. Cenário 3: maior benefício ambiental.....	88
5.2.4. Cenário 4: maior benefício social	88
5.3. Metodologia de aplicação.....	88
5.3.1. Cenário 1.....	90
5.3.2. Cenário 2.....	95
5.3.3. Cenário 3.....	99
5.3.4. Cenário 4.....	104
5.4. Análise de resultados.....	109
6. CONCLUSÕES	113
6.1. Sugestões para trabalhos futuros	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXOS	125
Anexo I – Projeto de Sistema de Biorretenção.....	127
Anexo II – Cenário 1: dimensionamento das trincheiras de infiltração	129
Anexo III – Cenário 3: dimensionamento de microrreservatórios de aproveitamento de água da chuva.....	131

Anexo IV – Frequência de precipitações que produzem escoamento para a estação de Barcelos (04F/01C) no ano hidrológico de 2015/2016.....	133
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Lagoa impermeabilizada para armazenamento de água pluvial para utilização industrial.....	10
Figura 2 - Reservatório de armazenamento de água pluvial numa escola em São Francisco, Califórnia (E.U.A.).....	10
Figura 3 - Metas de eficiência do PNUEA 2012-2020.....	13
Figura 4 - Pedra Moabita.....	16
Figura 5 - Cisterna existente na Fortaleza de Massada.....	17
Figura 6 - <i>Chultun</i>	17
Figura 7 - Ilustração de <i>Compluvium – Impluvium</i>	18
Figura 8 - <i>Compluvium – Impluvium</i> numa casa na cidade de Pompeia, Itália.....	19
Figura 9 - Primeira cisterna implementada ao abrigo do Programa Cisternas nas Escolas, na escola Nova Russas em Ceára (Brasil).....	21
Figura 10 - Taxas de infiltração <i>versus</i> taxas de escoamento em função da área impermeabilizada.....	27
Figura 11 - Área do leito do rio afetada perante situações de enchente e inundação.....	29
Figura 12 - Camadas constituintes de uma cobertura verde.....	37
Figura 13 - Cobertura extensiva numa biblioteca localizada na cidade de Des Moines, Estado de Iowa (E.U.A.).....	38
Figura 14 - Cobertura semi-extensiva localizada na ETAR de Alcântara.....	39
Figura 15 - Poço de infiltração em associação com uma bacia de infiltração e uma trincheira de infiltração.....	44
Figura 16 - Reservatório de água pluvial numa instalação de SAAP.....	46
Figura 17 - Planta de implantação de um microrreservatório na via pública.....	48
Figura 18 - Corte transversal de um microrreservatório na via pública.....	48
Figura 19 - Estrutura de um pavimento intertravado de blocos de betão.....	50
Figura 20 - Aplicação de pavimento de blocos de betão.....	51
Figura 21 - Estrutura de um pavimento de betão poroso.....	51
Figura 22 - Aplicação de betão poroso num parque de estacionamento.....	52
Figura 23 - Aplicação de blocos de betão vazados em zona de estacionamento.....	52
Figura 24 - Pavimento de geocélulas com preenchimento granular.....	53
Figura 25 - Estrutura de um pavimento poroso com ligação ao sistema de drenagem.....	54

Figura 26 - Módulos Nidaplast® em polipropileno para preenchimento de trincheiras de infiltração	58
Figura 27 - Estrutura de uma trincheira de infiltração	58
Figura 28 - Aplicação de trincheira de infiltração em parque de estacionamento	60
Figura 29 - Faixa relvada paralela à rede viária.....	62
Figura 30 - Estrutura de uma bacia de retenção subterrânea	66
Figura 31 - Bacia de retenção com nível de água permanente.....	66
Figura 32 - Sistema de biorretenção com dreno de superfície	71
Figura 33 - Delimitação da área de estudo.....	86
Figura 34 - Dados de precipitação da estação de Barcelos (04F/01C) para o ano hidrológico 2015/2016.....	89
Figura 35 - Delimitação das áreas de contribuição de cada trincheira de infiltração	91
Figura 36 - Localização das trincheiras de infiltração	94
Figura 37 - Áreas de contribuição para as faixas relvadas.....	96
Figura 38 - Aplicação das faixas relvadas na área de estudo.....	98
Figura 39 - Sistema de cobertura adotado.....	100
Figura 40 - Delimitação das áreas das coberturas na zona de estudo	101
Figura 41 - Gráfico de frequência de precipitações que produzem escoamento no ano hidrológico 2015/2016 para a estação de monitorização de Barcelos (04F/01C).....	107
Figura 42 - Dimensões das secções longitudinal e transversal da bacia (sem escala)	108
Figura 43 - Localização da bacia de infiltração na área de estudo	108

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características de cada uma das sub-categorias de coberturas verdes	37
Tabela 2 - Percentagem de remoção de poluentes da água nos pavimentos permeáveis	55
Tabela 3 - Definição e caracterização das classes de parâmetros de comparação	74
Tabela 4 - Matriz de comparação das técnicas de aproveitamento de água da chuva.....	78
Tabela 5 - Comprimento mínimo (W_{min}) das faixas relvadas	98

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A água é considerada um bem precioso e fonte de vida, tendo sido declarado o acesso a uma água potável própria e de qualidade um direito humano (Assembleia Geral da ONU, 2010). Para além da sua grande importância no suporte à vida humana e de toda a fauna e flora, considera-se um fator de desenvolvimento socioeconómico essencial em atividades agropecuárias, de produção industrial e produção de energia elétrica. No entanto, apenas 2,5% da quantidade de água existente no Planeta é utilizável pelo Homem, sendo por esta razão fundamental uma maior consciencialização para o facto de a água constituir um recurso esgotável, podendo atuar como um condicionante do desenvolvimento humano.

Os usos competitivos da água aliados a fatores como o crescimento exponencial da população, aumento do consumo, degradação da qualidade da água e alterações climáticas têm vindo a provocar, um pouco por todo o Planeta, uma maior, e por vezes desgovernada, solicitação deste bem. Estima-se assim, que a propagação destes fatores leve a uma rápida redução nas reservas dos recursos hídricos, tornando a água um bem cada vez mais escasso e de elevada importância e impacto na economia mundial.

A crescente discrepância na distribuição da água disponível para o consumo humano é outro dos fatores que leva a que atualmente cerca de 1000 milhões de pessoas não tenham acesso a água limpa suficiente para garantir as necessidades básicas. No entanto, segundo a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007), em 2025 cerca de 60% da população mundial enfrentará uma situação de escassez de água.

Numa perspetiva de sustentabilidade é portanto fulcral uma revisão do uso da água que deverá passar sobretudo pelo consumo mais racional, adequação da qualidade da água para os diversos fins a que se destina, recurso a origens alternativas e principalmente reutilização da água, que passa essencialmente pelo aproveitamento da água da chuva, particularmente a destinada a usos não potáveis. A aplicação desta medida pode ser realizada a uma pequena

escala, como é o caso da aplicação dos SAAP (Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial) em habitações unifamiliares ou edifícios com diferentes utilizações-tipo (habitacionais, comerciais, hoteleiros, etc.), ou em grande escala a nível urbano ou industrial. O aproveitamento de água da chuva nas indústrias pode revelar-se bastante benéfico do ponto de vista económico e também ambiental, uma vez que corresponde a uma redução significativa do consumo de água potável com origem no abastecimento público. O emprego de técnicas de aproveitamento de água da chuva é também aplicável num contexto urbano, como são exemplo as bacias de retenção ou infiltração, os pavimentos permeáveis, os poços de infiltração, as trincheiras de infiltração e as coberturas verdes.

Em usos urbanos, a captação e armazenamento de água pluvial tem particular importância na mitigação dos impactos negativos associados à progressiva impermeabilização dos solos. A crescente urbanização e ocupação humana geram maiores áreas impermeáveis, conduzindo a uma diminuição da capacidade de infiltração, aumento do escoamento superficial e a uma maior afluência aos sistemas de drenagem. No caso dos sistemas unitários, constituídos por uma rede única de coletores onde são admitidas conjuntamente águas residuais e pluviais, o aumento do volume de água a transportar poderá contribuir para uma maior degradação da rede de coletores e ainda para uma diminuição da eficiência das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR).

Em Portugal, o emprego de técnicas de recolha e armazenamento de água da chuva quer para uso doméstico, quer para uso urbano é ainda incipiente. Atualmente existem certificações de sustentabilidade que valorizam os imóveis que recorrem ao uso de água pluvial em fins não potáveis, bem como incentivos fiscais por parte do governo e câmaras municipais, nomeadamente através da diminuição do Imposto Municipal sobre Imóveis (IMI), como é o caso da Câmara Municipal de Lisboa que estabelece uma redução de 50% do valor do IMI em prédios que possuam a certificação de sustentabilidade LIDERA (Neves e Afonso, 2010). Contudo, a existência de uma maior política de incentivo à implementação de sistemas de aproveitamento de água pluvial, bem como a existência de programas de divulgação junto da população acerca dos seus benefícios, nomeadamente na minimização do uso da água potável e da conservação deste bem para as futuras gerações, seriam medidas relevantes para a expansão do uso de água da chuva em Portugal.

A nível legislativo, atualmente não há nenhum documento que regulamente o aproveitamento de água da chuva para usos urbanos, porém, a ANQIP (Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais) tem desenvolvido várias ações neste domínio, designadamente a criação de uma Especificação Técnica (ETA 0701) que estabelece critérios técnicos para a realização de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP) em edifícios. O Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), cuja coordenação e implementação é assegurada pelo Ministério do Ambiente, através da Agência Portuguesa do Ambiente constitui também um instrumento essencial na política nacional para um uso eficiente da água. Na sua mais recente publicação, a reutilização e uso de água de qualidade inferior constitui uma das medidas para implementação entre 2012 e 2020, no entanto, e apesar da sua grande importância no cumprimento das metas de eficiência do uso da água, esta medida requer uma legislação adequada por forma a evitar possíveis perigos para a saúde pública, assim como um investimento na formação de técnicos acreditados para a execução deste tipo de sistemas.

Neste âmbito, pode definir-se água da chuva como sendo o volume de água precipitado sobre uma superfície, que pode ser recolhido para aproveitamento e posterior reutilização. Este conceito encontra-se estreitamente interligado com as noções de eficiência hídrica, uso racional e conservação da água, sendo portanto fulcral um maior conhecimento dos seus benefícios, formas de aplicação e consequentes usos. A evolução dos sistemas de aproveitamento da água da chuva poderá minimizar de forma significativa o uso de água potável e libertá-lo para outros usos, como o crescimento populacional ou o desenvolvimento de novas indústrias.

Por sua vez o conceito de água pluvial representa o escoamento superficial, estando relacionado com o volume de água que é escoado pelo sistema de drenagem. Uma correta aplicação das técnicas de aproveitamento de água da chuva pode, não só, mitigar situações de cheias e inundações e os riscos a elas associados, como também, acarretar inúmeros benefícios, nomeadamente ao nível ambiental, como é o caso da recarga de aquíferos e a diminuição da carga poluente.

1.2. Objetivos

Esta dissertação tem como principal foco a avaliação de técnicas de aproveitamento de águas da chuva em comunidades urbanas, nas suas várias vertentes. Este estudo pretende assim, complementar a informação existente na área do aproveitamento de água não potável, com o

intuito de alargar e divulgar a implementação de sistemas em comunidades urbanas de uma forma mais vantajosa e sustentável. Assim, impõem-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar e caracterizar as diferentes soluções técnicas que permitem o aproveitamento de águas da chuva em comunidades urbanas;
- Desenvolver uma matriz de comparação incluindo cada uma das técnicas de acordo com parâmetros de cariz técnico, ambiental, económico e social;
- Identificar as técnicas mais vantajosas, de acordo com a análise comparativa efetuada e do ponto de vista de cada uma das classes de parâmetros utilizadas;
- Aplicar algumas das técnicas de aproveitamento de água da chuva a um caso de estudo com diferentes cenários e aferir os possíveis benefícios da sua implantação.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação será desenvolvida ao longo de seis capítulos. Com o corrente capítulo de introdução pretende-se realizar o enquadramento acerca do tema da dissertação, identificar os objetivos e qual a estrutura da dissertação que permitirá o cumprimento desses mesmos objetivos.

O segundo capítulo é composto por uma revisão bibliográfica, na qual se pretende definir o conceito de aproveitamento de água da chuva e elucidar acerca da sua importância para a humanidade, num contexto atual de sustentabilidade e de prevenção dos riscos associados a uma má gestão da água. Este capítulo inclui também uma síntese acerca da legislação portuguesa existente para a qualidade da água recolhida pelas estruturas de aproveitamento de água e uma referência histórica relacionada com a evolução das técnicas de aproveitamento ao longo dos anos, não só em Portugal como em outros países do Mundo. Por fim, no segundo capítulo, salientam-se ainda os principais benefícios e inconvenientes que o aproveitamento de água da chuva pode promover.

O terceiro capítulo aborda o aproveitamento de água da chuva numa perspetiva de uso urbano, pretendendo-se desta forma, referir os efeitos do aumento da impermeabilização do solo na drenagem de água pluvial e elucidar sobre a importância que medidas como o aproveitamento de água podem revelar na mitigação de situações de cheias e inundações. Neste capítulo são abordadas as diferentes técnicas de aproveitamento de água da chuva, realizando primeiramente uma classificação das diferentes categorias de técnicas e posteriormente uma

descrição de cada uma delas, identificando os seus princípios de funcionamento, condições e locais de aplicação, vantagens e desvantagens da sua implantação. No que respeita ao dimensionamento das técnicas, em virtude da sua extensão, complexidade e grande diversidade de métodos, apenas foram abordadas as fórmulas de cálculo relativas às técnicas aplicadas no caso de estudo, estando portanto enquadradas na metodologia de dimensionamento realizada no quinto capítulo.

O quarto capítulo é composto por uma análise comparativa das técnicas referidas no terceiro capítulo. Para que a análise comparativa seja realizada, são identificados e caracterizados os principais parâmetros de comparação (técnicos, ambientais, económicos e sociais), sendo de seguida realizada uma comparação sob a forma matricial, a qual pretende aferir o grau de atendimento de cada uma das técnicas a cada parâmetro. Este capítulo engloba ainda uma apreciação acerca dos resultados obtidos com a análise comparativa, pretendendo aferir, sob o ponto de vista de cada classe de parâmetros, as técnicas que desenvolvem um maior número de benefícios face aos inconvenientes que acarretam.

No quinto capítulo será efetuada a aplicação de algumas das técnicas de aproveitamento de água da chuva a um caso de estudo, definindo quatro cenários de acordo com cada uma das classes de parâmetros de comparação utilizadas no quarto capítulo, e para a mesma localização. Neste capítulo, estará contida a descrição da metodologia de aplicação, nomeadamente as fórmulas de dimensionamento, os resultados obtidos e a respetiva análise, de forma a avaliar e confrontar as vantagens de cada uma das técnicas aplicadas face às restantes.

Por último, o sexto capítulo sintetiza as conclusões obtidas com a realização da presente dissertação, contendo também possíveis estudos futuros, de modo a que o conhecimento acerca das técnicas de aproveitamento de águas de água da chuva continue a ser alargado, por forma a alertar as entidades gestoras para os benefícios desta prática, culminando numa implantação a maior escala destas estruturas em Portugal.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A importância do aproveitamento da água

Sabe-se que cerca de 71% da superfície terrestre está coberta de água, no entanto esta aparente abundância promoveu uma idealização errada de que este recurso é infinito, levando conseqüentemente, a um uso desmedido deste bem. Atualmente, a percepção de que a água se trata de um recurso limitado já abrange uma grande parte da sociedade, todavia é necessário agir no sentido de garantir uma elevada eficiência na sua utilização. A gestão deste bem deverá constituir portanto um assunto de primazia nas políticas de gestão dos recursos hídricos de cada país por forma a garantir uma maior eficiência no binómio “necessidades de consumo *versus* racionalização do uso”.

Em Portugal, foi estabelecido o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (Agência Portuguesa do Ambiente, 2001) cujo principal objetivo passa por uma promoção do uso eficiente da água, em particular nos sectores urbano, agrícola e industrial, de forma a minimizar os riscos de escassez hídrica e melhorar as condições ambientais nos meios hídricos. Estima-se também que o uso eficiente e racional da água em Portugal conduza a uma minimização dos riscos inerentes à carência de água, quer em situação hídrica normal quer em períodos de seca. Embora a problemática da escassez de água não afete Portugal, em situação hídrica normal, em períodos de seca, bacias como Leça, Lis, Ribeiras do Oeste, Sado, Mira e Ribeiras do Algarve podem estar sob condições severas de *stress* hídrico (Vivas, 2008).

Por outro lado, a crescente diminuição da capacidade de infiltração dos solos, conseqüência de processos de deflorestação e aumento das áreas impermeáveis, tem provocado um aumento na afluência aos sistemas de drenagem de águas pluviais. Desta forma, verifica-se uma situação de subdimensionamento das redes de águas pluviais para a qual não está garantida a eficácia no escoamento o que acarreta entupimentos, inundações e poluição dos meios hídricos.

Desta forma, o aproveitamento de água da chuva pode revelar-se uma importante fonte alternativa de água não potável, capaz de suprir uma grande parte das necessidades da população, minimizando o recurso aos meios hídricos disponíveis, podendo ainda mitigar os problemas inerentes às alterações climáticas, quer estes sejam de situações de seca e escassez de água ou por outro lado de situações de cheias e precipitação intensa.

Segundo o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012), no início do século XXI a procura anual de água em Portugal Continental, englobando os setores urbano, agrícola e industrial, foi estimada em aproximadamente 7 500 milhões de metros cúbicos, representando um elevado valor económico para o país com um custo equivalente a 1,65% do PIB. No entanto este volume de água captada não representa a água que realmente é utilizada, já que no ano de 2000 cerca de 40% constituía uma parcela de desperdício fruto do uso inadequado para os fins previstos, a par das perdas associadas ao armazenamento, transporte e distribuição. A consciencialização das entidades gestoras da água para esta ineficiência determinou a aplicação de medidas para a eficiência global do uso da água a nível nacional, nomeadamente através de planos de melhoria e relatórios ambientais anuais no setor industrial, da redução das perdas nos sistemas de transporte e distribuição no setor urbano e da modernização dos regadios coletivos no setor agrícola. A aplicação destas medidas proporcionou uma significativa redução na procura anual de água, tendo existido em 2009 uma procura anual de água de 4 199 milhões de metros cúbicos. Contudo e apesar das melhorias na eficiência do uso da água entre os anos de 2000 e 2009, o desperdício de água constitui ainda uma parcela bastante expressiva no volume de água anual e que se revela particularmente gravosa nas situações de escassez hídrica.

É neste contexto que se percebe a relevância que a água pode ter no desenvolvimento da sociedade e que fatores como a sua escassez e os desperdícios na sua utilização são preponderantes numa perspetiva não só ambiental como económica. A eficiência do uso da água é portanto imperativa já que engloba vários domínios:

- Ambiental: a água é um recurso limitado que deve ser conservado por forma a garantir a sustentabilidade dos ecossistemas e de todos os serviços inerentes que asseguram o desenvolvimento da sociedade;
- Estratégico-económico: é importante aumentar as reservas de água no país, de modo a minimizar as consequências das épocas de seca e escassez, assim como assegurar o desenvolvimento do tecido empresarial, já que a água representa um

fator de produção essencial em diversos setores de atividade económica e a respetiva eficiência de utilização pode representar uma grande influência na competitividade das empresas nos mercados nacional e internacional (Sacadura, 2011);

- **Ético:** sendo a água fundamental para a vida, uma boa gestão dos recursos hídricos é essencial no sentido de garantir a sobrevivência das gerações vindouras.

Assim, no sentido de atingir maiores níveis de eficiência do uso da água, é fulcral a implementação de estratégias sustentáveis de aproveitamento de água da chuva com vista a renaturalizar o ciclo urbano da água e minimizar o recurso às fontes de água.

2.2. Conceito de aproveitamento de água da chuva

O aproveitamento da água da chuva é uma prática antiga que foi sendo abandonada ao longo do tempo em consequência do crescimento dos sistemas públicos de abastecimento de água. A crescente consciencialização da sociedade para um uso sustentável dos recursos hídricos associada ao facto de a chuva constituir um episódio frequente na vida humana, levou ao retorno da valorização desta prática com a implementação de novos projetos em edifícios e comunidades urbanas de aproveitamento de água da chuva, que não sendo indicada para consumo humano, pode ser utilizada em muitos outros usos que dispensem o uso de água potável.

O aproveitamento da água da chuva é efetuado previamente à infiltração desta no solo ou seguimento para a rede de drenagem e consiste na captação através de uma superfície de recolha seja esta uma cobertura, parque de estacionamento ou superfícies de terraços, por exemplo, e posterior armazenamento para futura utilização. O armazenamento da água recolhida pode ser realizado de inúmeras formas, sejam estas de maior escala como é o caso de açudes e lagoas (Figura 1) ou as de menor escala como os reservatórios e cisternas enterrados ou à superfície (Figura 2). É de salientar que face aos reservatórios e cisternas, as superfícies de água expostas ao ar livre acabam por ser desvantajosas no sentido em que apresentam um maior desperdício de água devido às perdas por infiltração e evaporação e ainda uma diminuição da qualidade da água devido à possível entrada de matéria orgânica ou inorgânica.



Figura 1 - Lagoa impermeabilizada para armazenamento de água pluvial para utilização industrial, Fonte: geosynthetica.net.br



Figura 2 - Reservatório de armazenamento de água pluvial numa escola em São Francisco, Califórnia (E.U.A.), Fonte: www.millercomp.com

2.3. Legislação para a qualidade da água recolhida

Ao longo da história acreditou-se que a água da chuva possuía grandes benefícios, sendo expectável que a sua qualidade fosse superior à das águas superficiais e subterrâneas já que não haveria a possibilidade de contacto com agentes contaminantes decorrentes da percolação nos solos. No entanto, com o desenvolvimento industrial ao longo dos últimos séculos, a água da chuva é atualmente considerada uma água de fraca qualidade, essencialmente devido ao aumento da poluição atmosférica, em particular em meios urbanos. Aquando da precipitação, esta água arrasta consigo da atmosfera vários poluentes, tais como dióxido de carbono, compostos azotados e enxofre podendo originar chuva ácida.

A qualidade da água da chuva está estreitamente relacionada com a localização geográfica, sendo fatores determinantes para a carga poluente desta água, as condições meteorológicas (vento, intensidade e duração das chuvadas) e a constituição do ar, distinta consoante se trate de uma zona litoral, rural ou urbana.

Para além da poluição que está contida na água, nos SAAP pode existir um significativo acréscimo na contaminação da água nos diferentes constituintes do sistema (Sacadura, 2011):

- Na superfície de captação: após a época de estio as coberturas contêm poeiras, excrementos de aves, material orgânico com origem na vegetação, entre outros detritos, que com as primeiras chuvadas se dissolvem na água originando uma água de elevada contaminação.
- No sistema de drenagem: caso não haja nenhuma malha capaz de reter os detritos de maiores dimensões à entrada das tubagens, os sedimentos arrastados da superfície de captação conjuntamente com a infiltração de insetos podem levar à criação de condições propícias ao desenvolvimento de microorganismos;
- No reservatório: tal como no sistema de drenagem, a sedimentação dos detritos provenientes dos itens anteriores, bem como a decomposição biológica podem favorecer a deterioração da qualidade da água.

Apesar de atualmente existir um número considerável de SAAP implementados em Portugal, a ausência de legislação e normalização específica constituiu desde cedo um obstáculo à evolução desta prática. O conceito de água pluvial surgiu pela primeira vez na legislação nacional no Decreto Regulamentar N.º 23/95 (DL 23/95), de 23 de Agosto de 1995, no qual se definia como a água resultante da precipitação atmosférica caída directamente no local ou nas bacias limítrofes contribuintes e que apresentam geralmente menores quantidades de matéria poluente, particularmente a de origem orgânica (Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de Agosto, 1995). A 23 de Outubro de 2000 é aprovada a Directiva Quadro da Água (DQA, 2000), que estabeleceu um quadro de ação comunitária para a proteção das águas de superfície interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas.

Em 2001, surge o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) como um instrumento de política ambiental nacional, cujo principal objetivo passa pela promoção do uso eficiente da água em Portugal nos diferentes setores: urbano, agrícola e industrial, contribuindo para a minimização dos riscos de escassez hídrica e para a conservação dos meios hídricos,

mantendo as necessidades vitais e a qualidade de vida da população, assim como o desenvolvimento socioeconómico do país. Desde a data da sua publicação até ao ano de 2005 foram redigidos vários documentos técnicos de apoio à implementação do PNUEA, o que culminou na publicação da Resolução de Conselhos de Ministros nº 113/2005 a 30 de junho e na elaboração de uma estratégia de execução das medidas que constam do PNUEA. Contudo, os esforços feitos foram insuficientes para o cumprimento das metas traçadas, em virtude da inexistência de uma coordenação e administração governativa capaz de garantir uma correta implementação do programa que conduzisse à sua execução global (Oliveira, 2008).

Na versão mais recente, publicada em junho de 2012 e subordinada ao tema “Água com futuro”, o PNUEA associa a melhoria da eficiência de utilização da água à consolidação de uma nova cultura de água em Portugal, com vista a uma maior valorização deste recurso e a uma maior consciencialização para a sua importância no desenvolvimento socioeconómico, mas também numa perspetiva de preservação deste recurso natural para as gerações vindouras, num contexto de desenvolvimento sustentável. Por forma a garantir o sucesso da concretização das medidas que constam do PNUEA cuja implementação se iniciou em 2012 e se prolonga até 2020, juntamente com a nova versão deste programa foi constituída a Comissão de Implementação e Acompanhamento (CIA). Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente, esta comissão integra representantes de diferentes setores e tem como principal propósito assegurar uma governança ativa e motivada para o alcance das metas propostas, assim como promover uma participação mais ativa de todos os intervenientes neste processo.

No PNUEA consta um conjunto de medidas de aplicação aos três principais sectores consumidores de água: setor urbano, setor agrícola e setor industrial. As diferentes medidas para os três setores têm como objetivo geral a promoção de um uso eficiente da água com vista à redução das pressões qualitativas e quantitativas sobre as massas de água. Neste domínio de eficiência foram impostas metas para 2020 (Figura 3) que visam garantir uma diminuição significativa do desperdício da água para os setores com a maior solicitação de água.



Figura 3 - Metas de eficiência do PNUEA 2012-2020

No setor urbano e particularmente no aproveitamento de água pluvial, o PNUEA contempla várias medidas num contexto de redução de consumos de água:

- Medida 8: Reutilização ou uso de água de qualidade inferior – utilização da água usada nos sistemas prediais para fins adequados;
- Medida 38: Utilização da água da chuva em jardins e similares – alimentação de sistemas de rega através de água da chuva;
- Medida 45: Utilização de água da chuva em lagos e espelhos de água – utilização de água da chuva para suprir necessidades de reposição de água;
- Medida 48: Utilização de água da chuva em campos desportivos, campos de golfe e outros espaços verdes de recreio – utilização de água da chuva para suprir necessidades de rega.

O cumprimento destas medidas por parte da administração central, câmaras municipais e seus serviços municipalizados, entidades gestoras, públicas ou privadas, responsáveis pela exploração de infraestruturas de abastecimento de água, consumidores domésticos e consumidores de unidades coletivas urbanas irá gerar uma maior otimização do uso da água e consequentemente a proteção dos recursos hídricos existentes.

Perante a inexistência de legislação e certificação para os sistemas de aproveitamento de água pluvial, a Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais (ANQIP) em parceria com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) publicou em 2009 as

Especificações Técnicas – ETA 0701 e ETA 0702. Estas especificações não estabelecem qualquer tipo de obrigatoriedade tendo um carácter meramente orientador, nomeadamente para fabricantes dos dispositivos constituintes dos SAAP e empresas de instalação deste tipo de sistemas.

A Especificação Técnica ANQIP 0701 vem estabelecer critérios de ordem técnica para a implementação de SAAP a nível predial, abordando questões relativas à conceção, instalação e exploração deste tipo de sistemas:

- Nos casos em que a água recolhida no SAAP tenha como destino a rega de jardins, lavagem de exteriores e veículos, esta não carece de tratamento físico-químico ou bacteriológico, sendo suficiente um tratamento básico de filtragem e de controlo da sedimentação no reservatório;
- A utilização de água da chuva sem tratamento em descargas de autoclismo, apenas deve ser admitida quando a água respeite, no mínimo, as normas de qualidade de águas balneares, nos termos da legislação nacional e das Diretivas europeias aplicáveis (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1/8, que transpõe a Diretiva n.º 76/160/CEE, do Conselho, de 8/12);
- Para a situação referida no item anterior, não sendo cumpridos os valores máximos admissíveis estabelecidos para os parâmetros microbiológicos, deve prever-se uma desinfeção da água por ultravioletas, cloro ou outro processo adequado. No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfeção, recomenda-se que o cloro residual livre se situe entre 0,2 e 0,6 mg/L;
- A lavagem de roupas com água da chuva sem tratamento específico apenas deve ser considerada quando a temperatura da água de lavagem atingir, no mínimo, 55°C. Para esta utilização, deve ser prevista a aplicação de um microfiltro com malha mínima de 100 µm e cuja manutenção periódica deve ser assegurada;
- Quando a área de captação for alargada a zonas mais poluídas (áreas de trânsito de veículos, etc.), devem considerar-se tratamentos suplementares adequados (tais como floculação, desinfeção, etc.);
- Caso o pH da água seja superior a 8,5 ou inferior a 6,5, pode ser necessário ou conveniente efetuar uma correção de pH, em função dos materiais utilizados na instalação;

- Recomenda-se um controlo da qualidade da água na cisterna com uma periodicidade máxima de seis meses, prazo este que poderá ser alargado até um ano, caso o suprimento seja efetuado unicamente a partir da rede pública de água potável.

Por sua vez, a Especificação Técnica ANQIP 0702 estabelece as condições para a Certificação de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP), executados de acordo com a Especificação Técnica ANQIP 0701. Esta certificação é recomendável por razões técnicas e de saúde pública e exige a apreciação prévia do projeto pela ANQIP, a realização de vistorias à obra, a certificação da equipa de instalação, bem como a existência de um contrato de manutenção.

No caso do aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis, que não a nível predial, verifica-se que não existe em Portugal legislação e normalização de carácter técnico para regulamentação deste tipo de sistemas, o que dificulta o crescimento e alargamento desta prática e poderá comprometer o seu correcto funcionamento e acarretar riscos de saúde pública.

2.4. História do aproveitamento de água da chuva

As potencialidades do aproveitamento da água da chuva são conhecidas há milhares de anos e já os nossos antepassados reconheciam os seus benefícios para a humanidade. A prática da recolha e armazenamento da água da chuva foi iniciada pelas civilizações antigas instaladas em zonas áridas e semiáridas, zonas estas que possuem uma baixa taxa de pluviosidade e em que a precipitação apenas ocorre em um ou dois meses ao longo de todo o ano, sendo por vezes os reservatórios de água da chuva a única fonte de água disponível, ainda que esta não seja água potável.

A primeira referência aos sistemas de aproveitamento de água pluvial data de 830 a.C. e corresponde à Pedra Moabita (Figura 4). Esta pedra foi encontrada no Médio Oriente e nela consta uma inscrição, feita pelo rei Meshá dos Moabitas, sugerindo a implementação de um reservatório em cada casa para aproveitamento da água da chuva (Tomaz, 2003).

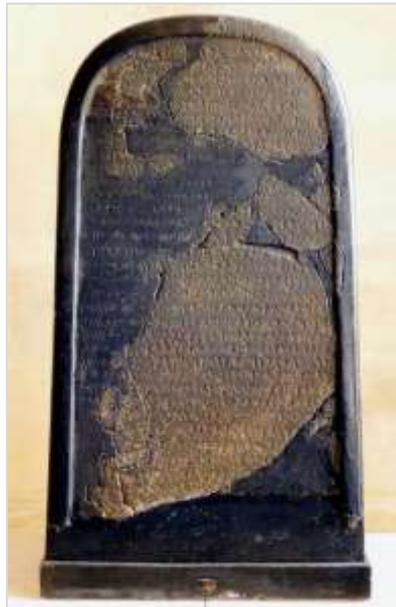


Figura 4 - Pedra Moabita, Fonte: www.artefatosbiblicos.wordpress.com

Ao longo da história da humanidade foram inúmeras as estruturas criadas para o armazenamento de grandes quantidades de água da chuva e em diferentes locais do mundo, sendo que muitas delas subsistem ainda nos dias de hoje. De entre as estruturas mais antigas existentes, constam:

- No Palácio de Knossos, situado na ilha de Creta, a utilização de reservatórios de armazenamento de água para a reutilização em descargas sanitárias datadas de 2000 a.C., sendo que nesta mesma região existem reservatórios de água da chuva cavados em rochas cuja data de construção está estimada em 3000 a.C. e cujo uso se destinava ao consumo humano (Tomaz, 2003);
- No Planalto de Loess situado na Província de Ganzu na China, a utilização de cisternas subterrâneas em barro construídas há mais de 2000 anos mantêm o seu uso até à atualidade. Uma vez que este planalto se encontra numa zona semiárida cuja precipitação no geral ocorre unicamente entre os meses de julho e setembro, a captação e utilização da água da chuva contribuiu para o desenvolvimento da agricultura nesta zona e traduziu-se num meio eficaz no alívio da pobreza;
- No ano de 37 a.C., quando o Rei Herodes conquistou a fortaleza de Massada, ordenou a construção de dois palácios com enormes cisternas escavadas na pedra (Figura 5) para recolher a água da chuva e cuja capacidade era superior a 40 milhões de litros (Tomaz, 2003);



Figura 5 - Cisterna existente na Fortaleza de Massada, Fonte: www.christusrex.org

- Em países como o México ou Irão, o aproveitamento de água da chuva desde há mais de 3 mil anos que vem sendo utilizado recorrendo a cisternas subterrâneas conhecidas por *Chultuns* ou *Abanbars*, respetivamente (Oliveira, 2008). No caso do México, os *Chultuns* (Figura 6a) caracterizavam-se por uma superfície de captação com uma área de 100 a 200 m², que era recolhida através de um orifício central (Figura 6b) para uma cisterna com um diâmetro de cerca 5m revestida com um reboco impermeável;



a) Caracterização de um *Chultun*

b) Orifício de entrada

Figura 6 - *Chultun*, Fonte: www.irpaa.org

- No império Romano, o desenvolvimento hidráulico e o saneamento apresentavam uma extrema importância no desenvolvimento das cidades e dos edifícios, tendo os romanos criado uma prática inovadora para o aproveitamento da água da chuva nas zonas de habitação. Neste sistema eram utilizados dois locais muito específicos da casa Romana (Figuras 7 e 8):

- O *Compluvium* que consistia numa abertura no centro do telhado, no ponto de unificação das vertentes inclinadas do telhado. Esta abertura permitia não só a entrada de luz natural na habitação como também a captação da água da chuva que escorria através do *Compluvium*.

- O *Impluvium* era normalmente constituído por um tanque retangular de fundo plano revestido a mármore a cerca de 30cm abaixo do nível do solo. Situava-se no patamar inferior ao *Compluvium*, permitindo assim a recolha da água que escorria através deste. O *Impluvium* estava ligado a uma cisterna num nível inferior, na qual a água era armazenada para posterior abastecimento e que tinha a vantagem de permitir a regulação da temperatura da habitação em períodos de muito calor.

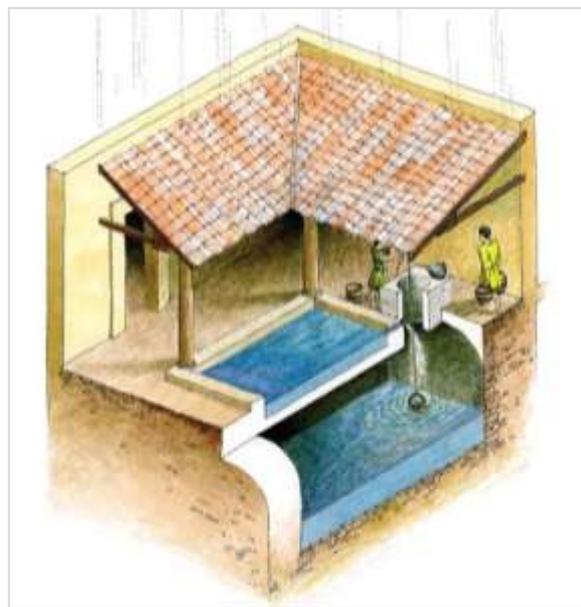


Figura 7 - Ilustração de *Compluvium* – *Impluvium*,

Fonte: www.servicios.laverdad.es



Figura 8 - *Compluvium – Impluvium* numa casa na cidade de Pompeia, Itália

Fonte: www.brennanjordan.org

- Em Portugal, a obra de aproveitamento de água pluvial com maior visibilidade e com maior antiguidade situa-se em Tomar, no conjunto monumental do Convento dos Templários. Desde a sua edificação, em 1160, até à conclusão do Aqueduto dos Pegões, no início do séc.XVII, que o abastecimento de água ao Convento e ao Castelo era realizado unicamente com recurso às águas da chuva que eram recolhidas na sua maioria nos telhados e encaminhadas para cisternas. De entre os Claustros existentes no Convento, oito deles assentam em cisternas situadas sob o centro do seu espaço interior ou sob as suas alas.

A prática do aproveitamento da água da chuva um pouco por todo o mundo permitiu, ao longo dos séculos, garantir o abastecimento de água à população, já que as redes de abastecimento público eram praticamente inexistentes, e revelou particular importância nas situações de seca e escassez de água. Nas épocas mais ancestrais, a água da chuva era utilizada não só para usos não potáveis, nomeadamente nas regas, mas também para o consumo humano já que o acesso a água potável em algumas zonas era inexistente ou de acesso muito custoso. Em países áridos, como a Jordânia, onde o acesso a recursos hídricos superficiais é escasso, a utilização da água da chuva para usos potáveis tem ganho uma importância crescente, permitindo o fornecimento deste bem essencial a toda a população (Abu-Zhreib *et al.*, 2013).

Assim, a recolha e armazenamento de água proveniente da precipitação, nas suas diversas formas, assumiu-se, ao longo de milhares de anos, como um fator essencial na sobrevivência e desenvolvimento dos povos.

Com a evolução dos sistemas de abastecimento de água e drenagem, o aproveitamento de água pluvial foi sendo abandonado, principalmente nas zonas mais desenvolvidas e com um acesso mais facilitado a água potável. Contudo, a crescente consciencialização por parte dos governos e entidades gestoras de água para a importância ambiental, económica e ética desta prática fez com que nas últimas décadas se retornasse à criação de sistemas de aproveitamento pluvial quer a nível doméstico, quer a nível empresarial, sendo que atualmente já existem vários países que apostam, através de políticas de incentivo, no aumento da rede de sistemas de aproveitamento de água, tais como o Japão, Alemanha, Austrália, Singapura, Tailândia e EUA. Nestes países com fácil acesso a recursos hídricos superficiais, o aproveitamento de água da chuva assume também importância, pois possibilita ainda a redução das escorrências superficiais (Abu-Zhreib *et al.*, 2013).

A Alemanha é um dos países mais empenhados na criação de novos sistemas de aproveitamento de água pluvial (SAAP), essencialmente a nível doméstico, para conservação das reservas subterrâneas de água, concedendo aos seus cidadãos incentivos financeiros para a implementação de SAAP nas suas habitações. Neste caso, a água apenas é destinada a usos não potáveis como regas e lavagens domésticas, no entanto, estima-se que no futuro o uso de água pluvial seja alargado para usos comerciais, nomeadamente para o fornecimento de grandes complexos, como é o caso de hotéis, através das empresas públicas ou privadas de abastecimento de água (Tomaz, 2003). O centro de manutenção da Lufthansa-Technik AG, instalado no aeroporto de Hamburgo, é um dos exemplos mais recentes de utilização da água da chuva a nível industrial, sendo que neste caso a chuva é captada e armazenada tendo como destino final a lavagem dos aviões e proporcionando uma poupança de cerca de 60% da água do abastecimento (Silva, 2014).

No Brasil, desde 1990 que a implementação de sistemas de aproveitamento de água pluvial se tornou mais efetiva, nomeadamente no nordeste brasileiro, onde o clima semiárido aliado à salinidade das águas subterrâneas dificultava o abastecimento de água nas épocas de seca dos rios, lagoas e açudes. Assim, a captação de água da chuva nesta zona permitiu a supressão das necessidades de consumo domésticas e agrícolas. Nesta mesma zona, o Governo

Brasileiro criou um projeto de implementação de sistemas de aproveitamento de água em escolas – Programa Cisterna nas Escolas – que irá abranger, até ao final de 2016, 5 mil escolas, em 254 municípios, com a construção de cisternas com um volume de armazenamento de 52 000 litros (Figura 9). O investimento do Governo Brasileiro é de 69 milhões R\$ e permite atenuar as dificuldades existentes na região semiárida do Brasil, onde o abastecimento de água nas escolas era insuficiente para garantir as necessidades.



Figura 9 - Primeira cisterna implementada ao abrigo do Programa Cisternas nas Escolas, na escola Nova Russas em Ceára (Brasil), Fonte: www.brasil.gov.br

É de salientar ainda o caso de Tóquio, no Japão, onde também existem incentivos financeiros de apoio à implementação de SAAP. Os elevados índices de superfície impermeável aliados ao facto de os reservatórios de água que fazem o abastecimento da cidade ficarem distantes favorecem a utilização de sistemas de aproveitamento de água. Existem regulamentos estabelecidos pelo governo que obrigam que todos os prédios com uma área de construção superior a 30 000 m² utilizem no mínimo 100 m³ diários de água pluvial para usos não potáveis (Carvalho, 2010). Para além dos reservatórios de água, que permitem controlar a afluência da chuva aos sistemas de drenagem e evitar picos de cheia, é usual no Japão, a construção de valas que permitem a infiltração da água da chuva.

Em Portugal, são vários os projetos de SAAP existentes atualmente, podendo-se salientar a captação de água da chuva num complexo habitacional em Matosinhos (Machado, 2012), cujo destino final é a descarga de aparelhos sanitários e a rega dos jardins. Em Angra do Heroísmo,

Açores, existe um hotel que apostou na construção de uma cisterna capaz de armazenar cerca de 1500m³ garantindo a rega dos jardins (Oliveira, 2008). Outro dos projetos existentes em Portugal é o do departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, que instalou um SAAP em 2010 com uma capacidade de 10m³, cuja função a abastecer o Laboratório de Hidráulica. Futuramente, e com custos reduzidos, este sistema poderá ser expandido de modo a garantir o fornecimento de água para instalações sanitárias bem como irrigação de jardins.

Em Portugal, a consciencialização da importância destes sistemas e das suas potencialidades tem levado a que cada vez mais as empresas apostem na comercialização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, incluindo reservatórios sobretudo em PEAD.

2.5. Benefícios *versus* inconvenientes do aproveitamento de água da chuva

Atualmente o aproveitamento da água da chuva tem vindo a ganhar uma importância crescente na sociedade, nomeadamente num contexto sustentável de salvaguarda do planeta tendo em conta as próximas gerações, assim como na consciencialização das consequências que a escassez de água potável poderá trazer para a vida humana.

Tendo em conta que a água da chuva apresenta uma qualidade satisfatória para usos não potáveis, a implementação de sistemas de aproveitamento tanto a nível doméstico ou industrial, como a nível urbano, apresenta inúmeros benefícios e pode mitigar grandes problemas decorrentes do aumento do consumo de água e da crescente urbanização e impermeabilização dos solos, que provocam uma diminuição da capacidade de infiltração das águas da chuva.

Desta forma, pode enumerar-se alguns dos benefícios que a prática de aproveitamento de água da chuva consegue gerar:

- A instalação de SAAP a nível doméstico leva a uma poupança económica do consumidor individual devido a um menor consumo de água com origem no abastecimento público, já que o consumo habitacional de água não potável proveniente da chuva poderá ser da ordem dos 60%;
- O aproveitamento de água a nível industrial, com a implementação de reservatórios e/ou bacias de retenção, revela-se um fator muito importante na gestão económica da empresa, nomeadamente se a água da chuva para além de ser destinada a uso sanitário e sistemas de rega de jardins, for também utilizada

no próprio processo de industrialização, como é o caso do aquecimento de caldeiras e das torres de refrigeração;

- Contribuição para a minimização da quantidade de energia utilizada e da emissão de gases poluentes decorrentes dos processos de tratamento de água para abastecimento público;
- Diminuição da pressão sobre os recursos hídricos, em particular da água potável, constituindo importantes reservas de água com particular utilidade em casos de período de secas, contribuindo para a mitigação dos efeitos das alterações climáticas e escassez de água;
- Em ambiente urbano, a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais contribui para a diminuição da erosão local e em particular das áreas de encosta (Melo, 2012) e ainda para o amortecimento do escoamento superficial, o que conduz a uma diminuição dos picos de cheias das respectivas bacias hidrográficas (Pomares, 2010);
- Melhoria na eficácia das redes de drenagem urbanas, dado que com a captação da água da chuva se dá uma diminuição do volume de água afluente à rede de drenagem de águas pluviais;
- Redução da contaminação da água pluvial com esgotos. Esta água seria direcionada para as estações de tratamento de águas residuais, o que provocaria um aumento do caudal afluente, o que para além de acarretar maiores custos de tratamento poderia pôr em causa a capacidade da ETAR, obrigando a descargas de águas com qualidade inferior à exigida;
- Em zonas com baixo nível de poluição atmosférica, a água da chuva revela-se de ótima qualidade, excedendo na maioria das vezes a qualidade da água subterrânea e superficial, já que não é afetada por descargas poluentes, como é o caso dos rios, nem está em contacto com o solo e as rochas, o que permite que não haja a dissolução de sais e minerais, que confere maior ou menor dureza à água. Apesar de a água da chuva constituir um recurso não potável, torna-se uma fonte atrativa em indústrias com uma exigência de água de boa qualidade e macia, já que os tratamentos simples de que necessita, como a filtração, têm um custo muito inferior aos tratamentos de remoção da dureza da água e, no caso dos equipamentos de lavagem e limpeza, uma água macia acarreta também uma diminuição na quantidade de detergentes necessários;

- A implementação de sistemas de aproveitamento de água pluvial é uma prática de reutilização de um recurso da Natureza que possui um baixo impacto ambiental, já que grande parte das estruturas utilizadas são as existentes nos edifícios, como as superfícies de recolha. Os reservatórios, quer sejam de uso doméstico ou urbano, usualmente encontram-se enterrados, não sendo perceptíveis nem causando qualquer interferência com a paisagem envolvente;
- Para além do benefício económico, uma reserva de água pluvial pode representar uma alternativa importante em situações de emergência ou de avaria do sistema público de abastecimento, o que a nível industrial se traduz numa maior independência nos casos de interrupção do abastecimento, permitindo manter o seu normal funcionamento.

Os inconvenientes associados a um sistema de aproveitamento de água pluvial estão essencialmente relacionados com a sua viabilidade económica, devido aos custos de instalação e manutenção, e ainda com a incerteza associada à ocorrência de precipitação.

Em zonas com baixos níveis de precipitação ou com uma grande variabilidade temporal na ocorrência de chuva, um sistema de aproveitamento de água pluvial tende a revelar-se pouco eficiente. Nestas situações, o baixo volume de água captado a par das extensas épocas de escassez de precipitação tornam este tipo de sistemas inviáveis do ponto de vista económico, uma vez que a poupança no recurso à água do abastecimento público não é suficiente para suprir os custos de investimento e manutenção. Por outro lado, nas zonas com níveis de precipitação mais altos, em casos de implementação de reservatórios, nem sempre a capacidade de armazenamento é suficiente para suprir a totalidade dos usos de água não potável da habitação ou indústria (Quadros, 2010). Isto acontece porque nos SAAP o maior custo está geralmente associado ao reservatório de armazenamento da água da chuva, custo esse que é crescente com o volume do reservatório (Abu-Zhreig *et al.*, 2013).

Outro dos inconvenientes que poderá surgir na sequência da aplicação desta prática está relacionado com o facto de existir a possibilidade de riscos sanitários quando não existe uma correcta manutenção dos componentes do sistema de aproveitamento de água pluvial ou quando não são aplicados os tratamentos básicos de filtração e desinfeção.

No entanto, é possível constatar que as desvantagens da captação e utilização da água da chuva são muito inferiores às suas vantagens e podem ainda ser minimizadas caso a sua implementação e manutenção sejam feitas de uma forma consciente. Para além deste facto, o benefício ambiental será por si só elevado, sendo igualmente um dos benefícios mais difíceis de contabilizar e que geralmente é ignorado numa análise de custo-benefício, que pode resultar numa decisão desfavorável à instalação de um SAAP.

3. TÉCNICAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA EM COMUNIDADES URBANAS

3.1. Efeitos do aumento da impermeabilização do solo na drenagem de água pluvial

Nas últimas décadas, o ritmo crescente de urbanização de áreas inicialmente com características rurais e com grande capacidade de infiltração, tem acarretado grandes modificações no ciclo hidrológico natural, conduzindo à ocorrência de situações de risco que chegam a pôr em causa a vida humana.

A progressiva impermeabilização dos solos decorrente do maior volume de construção e pavimentação é a principal responsável pelos problemas de drenagem de águas pluviais. Esta realidade origina uma redução de espaços verdes e conseqüentemente de flora capaz de absorver água através das suas raízes, uma significativa diminuição da capacidade de infiltração da água no solo, que têm como conseqüência o aumento do volume de água pluvial afluente aos sistemas de drenagem (Figura 10).

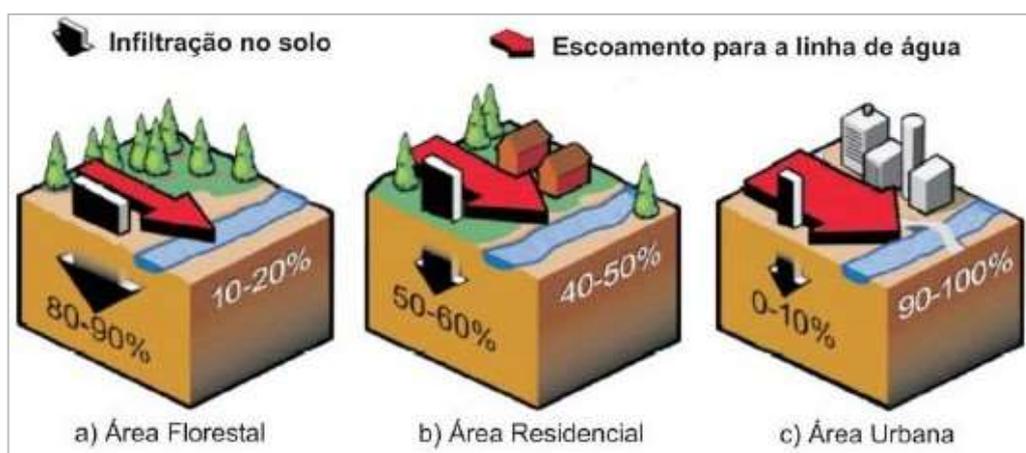


Figura 10 - Taxas de infiltração *versus* taxas de escoamento em função da área impermeabilizada, Fonte: Aquafluxus

O aumento da quantidade de água aliado ao desenvolvimento dos sistemas de escoamento com a utilização de condutas e superfícies que facilitam a rápida movimentação da água promove alterações no tempo de concentração da bacia – tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na secção de saída – devido às grandes velocidades de escoamento. Esta diminuição do tempo de concentração torna-se mais evidente quando ocorrem chuvadas de curta duração, mas estatisticamente susceptíveis de originar uma maior intensidade de precipitação.

Os efeitos das alterações do ciclo hidrológico natural da água e sobretudo a variação do escoamento superficial, consequência de um menor tempo de concentração de cada bacia, resultam em dois efeitos negativos de particular importância para as redes de drenagem:

- Caudais mais elevados correspondentes a chuvadas com ocorrência num menor intervalo de tempo;
- Maior concentração de caudais nas redes resultante da rápida afluência devido à maior velocidade de escoamento.

Apesar da impermeabilização dos solos acarretar grandes impactos negativos na drenagem pluvial urbana, também a forma como as infraestruturas são projetadas e implementadas possui uma grande influência na alteração do curso de água. A ação antrópica nos recursos hídricos, tais como a edificação em leitos de rios, a construção e desenvolvimento da malha rodoviária, o estreitamento dos cursos de água por pilares de pontes e adutoras, constitui um grande obstáculo ao escoamento superficial, já que obriga a uma alteração da drenagem natural, forçando o encaminhamento das águas para passagens obrigatórias construídas como passagens hidráulicas, concentrando assim grandes massas de água numa secção que nem sempre garante um correto escoamento em situações de precipitação intensa.

A atuação conjunta destes fatores associada ao aumento de assoreamentos e depósitos de resíduos sólidos decorrente do aumento populacional, desencadeia modificações na morfologia dos canais recetores e na sua dinâmica natural, provocando graves impactos ao nível da garantia de um correto escoamento. Assim, como consequência da progressiva densificação das zonas urbanizadas, tem vindo a assistir-se nos últimos anos a um aumento da ocorrência de cheias e inundações provocadas pelo subdimensionamento dos sistemas de drenagem e incapacidade dos meios recetores no escoamento do crescente volume de água a transportar, especialmente perante fenómenos de pluviosidade intensa.

A definição de cheia e inundação não é consensual, sendo por vezes confundido como sinónimo um do outro, o que não é verdadeiro, já que todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações têm como causa cheias (Ramos, 2013). Estes conceitos podem tomar algumas variações consoante o contexto em que são abordados e de acordo com a entidade que os menciona. O significado mais restrito de cheia, preconizado por Chow em 1956, caracteriza-a como um fenómeno hidrológico extremo, natural ou induzido pela ação humana, com frequência variável e no qual ocorre um transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, gerando a inundação dos terrenos ribeirinhos. Por outro lado, pode definir-se inundação como um fenómeno hidrológico extremo, natural ou induzido pelo Homem, de frequência variável, que consiste na submersão de uma área normalmente emersa.

Assim, as cheias ou enchentes traduzem-se num alargamento gradual do leito do rio – leito de cheia – no qual existe um aumento do caudal do curso de água de uma forma morosa e previsível, mantendo-se em situação de cheia durante um período de tempo até que exista um escoamento natural. Por sua vez, uma inundação caracteriza-se pela submersão de áreas para além do leito de cheia (Figura 11) e pode apresentar um carácter temporário, como é o caso dos fenómenos meteorológicos de precipitação intensa, ou de carácter definitivo, como é o caso da inundação dos terrenos após construção de uma barragem ou do aumento do nível de água do mar.

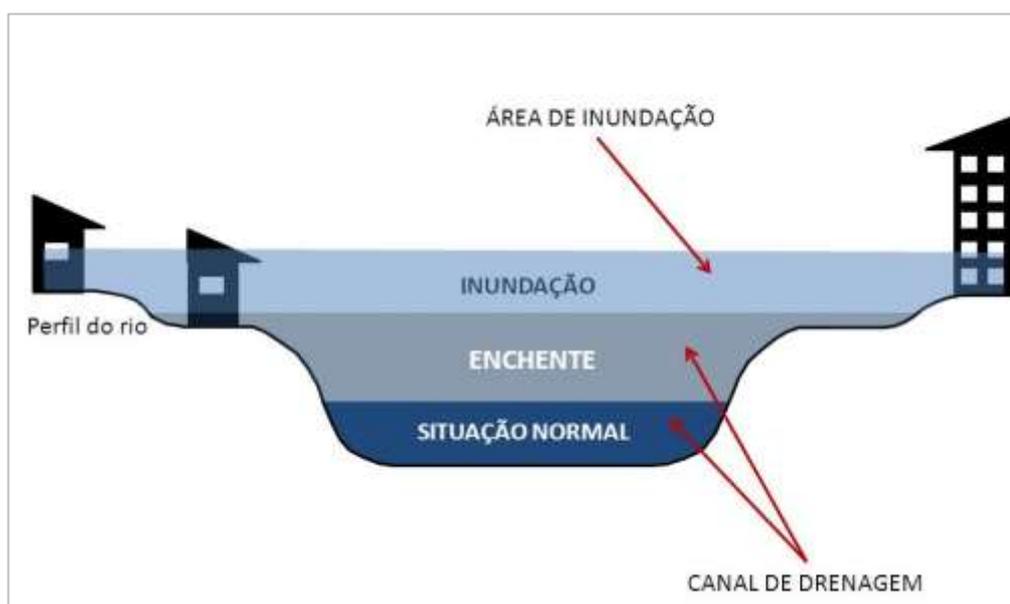


Figura 11 - Área do leito do rio afetada perante situações de enchente e inundação,

Fonte: Epagri/Ciram

Consoante a sua origem e localização, as inundações podem ser categorizadas em quatro tipos: (i) inundações fluviais; (ii) inundações de depressões topográficas; (iii) inundações costeiras; (iv) inundações urbanas.

As cheias e inundações poderão ser mais ou menos gravosas, dependendo não só de fatores temporais como a velocidade a que evoluem e a frequência com que ocorrem, como também, do fator magnitude, ou seja, do volume de água acumulado e da altura atingida. Contudo, o risco associado a estas situações será tanto maior quanto maior for a exposição da população, infraestruturas, propriedades e atividades económicas a áreas inundáveis ou de leito de cheia.

As inundações urbanas são as mais gravosas e aquelas que envolvem maiores danos materiais (habitações, veículos, atividades comerciais, património cultural, etc) e perdas de vidas humanas, devido ao facto de nestas zonas haver uma maior exposição de bens e pessoas. Diferentemente dos danos materiais, que com grande frequência são cobertos por seguros ou indemnizações, a perda de vidas humanas constitui um dano imensurável que se traduz numa sequela irremediável, constituindo um dos grandes propósitos para a mitigação destas ocorrências. Decorrentes de inundações e cheias, são ainda de salientar os impactos ambientais e de saúde pública, nomeadamente as doenças de veiculação hídrica que transportam agentes patogénicos ou poluentes químicos. A leptospirose, transmitida através da urina de rato, é uma das epidemias com maior taxa de ocorrência após este tipo de acontecimentos (Justino *et al.*, 2011).

3.2. Medidas de mitigação de situações de cheias e inundações

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) publicou, em 2015, as Cartas das Zonas Inundáveis e de Risco de Inundação, identificando 54 zonas críticas de ocorrência de inundação, sendo 27 zonas pertencentes à Região Autónoma da Madeira, 22 distribuídas pelas bacias do Continente e ainda 5 na Região Autónoma dos Açores. Esta cartografia revelou a grande probabilidade da ocorrência destas catástrofes naturais em Portugal, tendo levado à publicação dos Planos de Gestão dos Riscos de Inundação (PGRI) para cada uma das bacias. Os PGRI foram aprovados a 20 de setembro de 2016 pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 51/2016 para o período 2016-2021.

A identificação das zonas inundáveis é uma etapa estratégica determinante, já que estando as zonas suscetíveis assinaladas sobretudo as localizadas nas regiões com maior ocupação humana, é possível a mitigação destes fenómenos. Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente, os PGRI têm como objetivo melhorar a resiliência dos estabelecimentos humanos e proteger pessoas e bens, mediante o desenvolvimento e implementação de medidas que permitam diminuir a vulnerabilidade da zona em questão.

Os PGRI agem em articulação com os Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) de cada bacia e constituem um instrumento de planeamento estratégico e de ordenamento para a minimização das consequências de possíveis inundações. A irradicação destes fenómenos é impraticável face à sua dependência de fatores meteorológicos e devido à forma como as cidades se foram desenvolvendo ao longo dos anos, sem um planeamento refletido, com projetos de drenagem urbana inadequados. Os objetivos estratégicos abordados nos PGRI são vinculados a cada uma das bacias hidrográficas, no entanto, na sua generalidade passam por:

- Aumentar a perceção do risco de inundação e das estratégias de atuação na população e nos agentes sociais e económicos;
- Melhorar o conhecimento e a capacidade de previsão para a adequada gestão do risco de inundação;
- Melhorar o ordenamento do território e a gestão da exposição nas áreas inundáveis;
- Melhorar a resiliência e diminuir a vulnerabilidade dos elementos situados nas áreas de possível inundação;
- Contribuir para a melhoria ou manutenção do bom estado das massas de água.

Desta forma, estes planos têm em vista uma redução do risco das zonas inundáveis, transpondo as medidas para ações capazes de alterar essencialmente a exposição dos elementos e a forma como são expostos a fenómenos de cheias e inundações.

Neste sentido, é também fulcral uma minimização da magnitude das cheias e inundações do ponto de vista hidrológico, que deverá passar por regras urbanísticas mais adequadas, uma maior gestão dos cursos de água e sobretudo a implementação de medidas de descontinuidade, que se caracterizam por uma integração de áreas permeáveis em zonas já urbanizadas e com

características impermeáveis. Em termos técnicos, é fundamental a adoção de soluções que permitam:

- Aumentar a taxa de infiltração de água pluvial;
- Maximizar o volume de água pluvial retido e intercetado em depressões do solo;
- Promover o armazenamento temporário de água da chuva;
- Permitir a criação de condições controladas de escoamento superficial durante eventos de precipitação intensa, em superfícies impermeabilizadas (passeios, parques de estacionamento, arruamentos).

É nesta perspetiva que surge o aproveitamento de água da chuva como uma solução de controlo na origem, através da implementação de procedimentos e técnicas a montante dos sistemas de drenagem pluvial, capazes de promover a infiltração *in-situ* ou a retenção para efeitos de regularização do caudal e conseqüentemente minimizando a afluência de água da chuva ao sistema de coletores.

A aplicação de soluções de controlo na origem engloba soluções estruturais e não-estruturais e apresenta inúmeros benefícios económicos e ambientais que se refletem no meio natural, já que se dá uma aproximação ao ciclo hidrológico natural (Costa, 2010). Estes recursos tornam-se muito vantajosos para o espaço urbano, pois permitem uma requalificação estética e um maior controlo na drenagem de água pluvial, já que por vezes em ocasiões de grande pluviosidade e face à insuficiência da rede de drenagem é usual o rompimento de coletores e o escoamento de grandes quantidades de água em ruas e passeios danificando-os. Por outro lado, constituem também um grande benefício para o ambiente, contribuindo para a minimização da poluição, através da capacidade de tratamento associada à maioria delas devido à interligação de processos físicos, químicos e biológicos, e conseqüentemente para a diminuição da pegada ecológica associada a cada comunidade urbana.

Estas soluções deverão ser portanto materializadas a uma escala mais significativa, através da inclusão destes recursos no desenvolvimento e conceção de projetos de drenagem urbana e de controlo de inundações, que sendo corretamente projetadas e exploradas, não transferem problemas no tempo e no espaço a jusante, representando por isso, soluções que refletem o conceito de desenvolvimento sustentável.

3.3. Classificação das técnicas de aproveitamento de água da chuva em meio urbano

As soluções de aproveitamento de água da chuva aplicadas num contexto urbano devem ter em consideração a lógica do percurso natural da água, de montante para jusante, sendo portanto essencial que sejam aplicadas em toda a dimensão da bacia hidrográfica e de uma forma integrada, iniciando nas cotas mais altas e culminando nas cotas mais baixas, por forma a evitar grandes acumulações de água nas depressões.

As técnicas de aproveitamento de água da chuva podem ser então categorizadas em função do seu local de implantação, tipo de estrutura, dimensão e finalidade ou destino da água.

3.3.1. Técnicas locais de controlo na origem

As técnicas locais de controlo na fonte englobam as soluções que são aplicadas o mais próximo do local em que a precipitação atinge o solo, reduzindo a concentração a jusante. No entanto, e uma vez que se tratam de técnicas de pequena a média dimensão, a sua efetividade é reduzida, nomeadamente na mitigação de cheias e inundações. Para além disso, o facto de serem normalmente aplicadas a nível do património edificado, sendo a responsabilidade do projeto, construção e gerência atribuída ao proprietário do edifício ou terreno, dificulta a sua fiscalização e a manutenção no sentido de garantir um correto funcionamento e prevenir riscos de saúde pública. Entre as principais técnicas de controlo na origem estão:

- As coberturas verdes;
- Os poços de infiltração;
- Os microrreservatórios (nesta categoria incluem-se os reservatórios de armazenamento contemplados num SAAP).

3.3.2. Técnicas lineares de controlo na origem

As técnicas lineares de controlo na fonte, tal como as anteriores caracterizam-se pela sua aplicação nos locais de ocorrência de precipitação, representando um controlo a montante. São consideradas técnicas lineares por apresentarem uma dimensão longitudinal muito superior às dimensões transversais (largura e profundidade). São particularmente usadas em associação

com a rede viária, sendo neste caso da responsabilidade do Estado ou outras entidades públicas, mas podem também ser aplicadas a nível privado. São exemplo destas técnicas:

- Pavimentos permeáveis;
- Trincheiras de infiltração;
- Faixas relvadas.

As soluções de controlo na origem, sejam locais ou lineares, têm como principais vantagens: (i) o aumento da eficiência da rede de drenagem a jusante, já que ocorre uma diminuição do volume de água a transportar; (ii) a melhoria da qualidade da água em virtude dos processos de tratamento associados (sedimentação, filtração, etc.); (iii) o aproveitamento da água da chuva para diversas finalidades, quer seja a infiltração para recarga de aquíferos, a reutilização como fonte de água não potável ou o encaminhamento para o sistema de drenagem.

3.3.3. Técnicas de controlo centralizado

Ao contrário das anteriores, as técnicas de controlo centralizado dizem respeito às que são aplicadas a jusante, ou seja, a sua implantação ocorre nos locais de convergência do escoamento superficial, envolvendo portanto o controlo de um maior volume de água. Por norma, são estruturas de grande porte e cuja responsabilidade no projeto, construção e gestão cabe ao Estado. Nestas soluções, a água pluvial pode ter como destino final o armazenamento e/ou a infiltração. Neste contexto, destacam-se as seguintes técnicas:

- Bacias de retenção;
- Bacias de infiltração.

3.3.4. Técnicas de tratamento de efluentes pluviais

Este tipo de soluções é utilizado em zonas em que o efeito de depuração, associado às técnicas anteriormente mencionadas, não é suficiente para atenuar a carga poluente existente e evitar a contaminação do lençol freático. Sendo assim, constituem um recurso fundamental do ponto de vista ambiental, já que reduzem significativamente a carga poluente e atuam também na redução da deposição de detritos sólidos ao longo de todo o sistema de drenagem, contribuindo para uma diminuição da manutenção deste sistema (Silva *et al.*, 2015). Fazem parte desta categoria as seguintes técnicas:

- Sistema de biorretenção: para além dos processos de filtração, adsorção e sedimentação proporcionados igualmente pelas técnicas anteriores, a atividade biológica que este sistema incorpora permite também a decomposição da matéria orgânica;
- Dispositivo de gradeamento: consiste numa estrutura colectora de resíduos sólidos que pode ser aplicada em conjugação com as técnicas apresentadas anteriormente ou unicamente a montante do sistema de drenagem, como forma de garantir a redução dos sedimentos afluentes aos sistemas recetores.

Existem outros tipos de técnicas associadas ao controlo de águas pluviais, como a contenção de taludes e encostas ou a estabilização de taludes fluviais, no entanto, estas não serão abordadas por não se incluírem no contexto de aproveitamento de água da chuva em meio urbano da presente dissertação.

É possível classificar ainda as técnicas de aproveitamento de água pluvial em função da sua localização: - à superfície, como os pavimentos permeáveis, bacias de infiltração e retenção; - sub-superficiais ou subterrâneas, de que são exemplo os microrreservatórios, as trincheiras de infiltração e os poços absorventes.

3.4. Descrição das principais técnicas de aproveitamento de água da chuva em comunidades urbanas

3.4.1. Coberturas verdes

As coberturas verdes são uma técnica de naturalização¹ que permite restaurar a vegetação originalmente existente no solo, por forma a restabelecer as funções superficiais primitivas. Esta técnica de utilização de camadas de vegetação na cobertura das edificações proporciona a criação de uma superfície verde, sem que sejam colocados entraves relacionados com o uso e ocupação do solo, revelando-se assim uma técnica de sustentabilidade com particular interesse para os instrumentos de gestão pública.

¹ Processo de aplicação de vegetação sobre superfícies construídas, por forma a recuperar a envolvimento da natureza no meio urbano e a amenizar os impactos do desenvolvimento humano.

A implantação desta técnica de controlo na fonte, também denominada de cobertura ajardinada ou telhado verde, tem vindo a aumentar não só em Portugal mas em outros países europeus, devido a incentivos financeiros e medidas legislativas. Este impulsionamento para a adoção de técnicas sustentáveis como as coberturas verdes visa promover uma economia mais verde e contribuir para a redução no consumo de energia, sendo estas duas das prioridades definidas na estratégia de crescimento Europa 2020.

A composição das coberturas verdes está dependente da empresa que realiza e aplica esta estrutura, que dispõe geralmente de vários sistemas consoante as características da superfície do edifício e da utilização-tipo que se pretende. Usualmente são compostas pelas seguintes camadas (Figura 12):

- Estrutura resistente: diz respeito à cobertura do edifício que deverá ter um acabamento regular embora possa ou não ter inclinação;
- Camada de regularização: é composta por uma manta para regularizar o piso da superfície do edifício, onde pode ser alocada uma membrana anti-raíz de forma a proteger a cobertura da penetração das raízes das plantas;
- Sistema de impermeabilização: garante a estanquidade do sistema para que não haja transferência de humidade para a cobertura e possíveis danos no interior do edifício;
- Camada drenante: tem a função de reter a água da chuva, sendo que parte dessa água é fornecida para consumo da vegetação e a restante é drenada de forma segura para reservatórios de armazenamento ou diretamente para o sistema de drenagem. Esta camada permite ainda assegurar a ventilação da área das raízes e servir para respiração do edifício;
- Camada filtrante: normalmente composta por um filtro geotêxtil, esta camada garante a filtração da água que passa para a camada drenante, evitando que as partículas finas do substrato fiquem retidas no sistema de drenagem, que podem levar à colmatação desta camada;
- Camada de vegetação e terra vegetal: sobre a camada filtrante é depositado o substrato (terra vegetal) cuja função é permitir o desenvolvimento da vegetação. A composição do substrato é opcional e de acordo com o tipo de vegetação a colocar, que poderá ser muito variada consoante o objetivo da cobertura e as escolhas da equipa projetista.

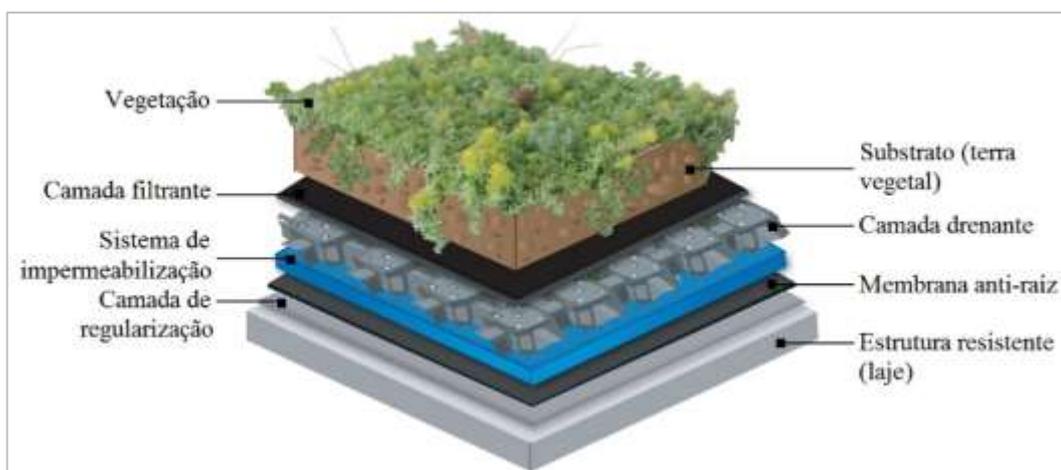


Figura 12 - Camadas constituintes de uma cobertura verde

Fonte: www.rotunda.co.uk (adaptado)

De acordo com a IGRA (*Internacional Green Roof Association*), as coberturas verdes podem ser classificadas no que respeita à espessura da camada de terra vegetal e à espécie de vegetação utilizada. Assim, pode dividir-se as coberturas verdes em três sub-categorias:

- Cobertura intensiva;
- Cobertura semi-extensiva;
- Cobertura extensiva.

Tabela 1 - Características de cada uma das sub-categorias de coberturas verdes, Fonte: IGRA

Categorias	Características					
	Peso (kg/m ²)	Espessura do solo (cm)	Tipo de vegetação	Manutenção	Irrigação ²	Custo
Intensiva	180 a 500	> 20	Arbóreo	Frequente	Frequente	Elevado
Semi-intensiva	120 a 200	10 a 20	Arbustivo	Periódica	Periódica	Médio
Extensiva	60 a 150	< 10	Herbáceo	Nula	Nula	Baixo

As coberturas verdes intensivas têm um carácter multifuncional e acessível, que permite a criação de um jardim na cobertura, onde podem ser plantadas uma grande variedade de árvores e arbustos, desde que o comprimento das suas raízes não tome proporções capazes de danificar

² Em período seco com precipitação nula ou muito espaçada no tempo.

o sistema e a própria laje. Podem também ser inseridos elementos como lagos, pátios e outras zonas de lazer. Devido à sua constituição requerem uma capacidade de carga superior e uma configuração do sistema mais profunda capaz de garantir uma maior retenção de água. São muitas vezes aplicadas como coberturas de garagens subterrâneas, no entanto, existem também edifícios com coberturas verdes intensivas.

Nas coberturas extensivas (Figura 13), a camada vegetal é comumente composta por gramíneas ou outras plantas de baixo porte mas de elevada resistência, já que são projetadas para garantir uma baixa ou mesmo nula manutenção. Neste caso, são utilizadas plantas com raízes de pequenas dimensões, com capacidade de regeneração e capazes de suportar condições atmosféricas adversas como ventos fortes, temperaturas extremas, elevado índice de radiação solar e grandes variações na quantidade de água disponível. Usualmente, as coberturas extensivas não possuem acessibilidade nem permitem outro tipo de utilizações, sendo aplicadas em grandes áreas e em edifícios com menor capacidade de carga.



Figura 13 - Cobertura extensiva numa biblioteca localizada na cidade de Des Moines, Estado de Iowa (E.U.A.), Fonte: Neoturf

As coberturas semi-extensivas (Figura 14) são coberturas híbridas que possuem características tanto das coberturas intensivas como extensivas. A principal diferença reside na espessura da camada de substrato, que permite a plantação de uma maior variedade de espécies, cuja altura pode ser gerida de acordo com as intenções do projetista ou dono do edifício, que podem ainda definir a sua acessibilidade.



Figura 14 - Cobertura semi-extensiva localizada na ETAR de Alcântara

Fonte: ANCV (Associação Nacional das Coberturas Verdes)

As coberturas verdes podem ser implantadas em associação com um SAAP permitindo que a água recolhida e não utilizada para o desenvolvimento da vegetação, seja encaminhada para um reservatório e posteriormente utilizada como fonte de água não potável, revelando assim, o seu potencial do ponto de vista da sustentabilidade. Neste caso, a cobertura verde atua já como um filtro, aumentando a qualidade da água a armazenar, já que as concentrações de poluentes tais como azoto total (N), chumbo (Pb) e zinco (Zn) tendem a baixar à medida que a água atravessa cada uma das camadas da cobertura. Por outro lado, a utilização de elevados níveis de fertilizante, por parte de alguns fabricantes, na camada de substrato da cobertura pode aumentar a concentração de azoto total e potássio (K) nos dois primeiros anos após a implantação da cobertura, com tendência a diminuir significativamente nos anos seguintes (Castelo-Branco, 2012). Quando aplicadas neste contexto é necessário determinar a capacidade de retenção de água da chuva das coberturas verdes, variando consoante as características do fabricante e sendo determinada com base no cálculo do volume aproveitável, conforme exemplificado mais à frente no ponto 5.3.3.

3.4.1.1. Vantagens das coberturas verdes

A introdução de coberturas verdes constitui um investimento que valoriza o edifício de vários pontos de vista, quer seja pelo impacto visual, pela sustentabilidade, ou até mesmo pela introdução do conceito de natureza em locais muito urbanizados.

Por constituir uma técnica de controlo que utiliza a vegetação, as coberturas têm inúmeros benefícios ambientais, dos quais se pode salientar:

- Aumento da capacidade de retenção de água pluvial: por se tratarem de uma técnica de controlo na fonte, as coberturas verdes são muito eficazes na redução do escoamento superficial, que segundo a ZinCo[®] (empresa alemã de fabrico e aplicação de coberturas verdes) pode atingir percentagens entre os 50 e os 90%. A capacidade de retenção destes sistemas está localizada não só na camada de drenagem como também no próprio solo e vegetação, sendo que a água que é recolhida poderá ser encaminhada através de tubos de queda para um reservatório.
- Melhoria do microclima: estas estruturas permitem o arrefecimento e o aumento dos índices de humidade no ar circundante, diminuindo o efeito de ilha de calor³, particularmente importante em áreas densamente urbanizadas. Conduzem assim a um microclima benéfico nas áreas urbanas onde se inserem, promovendo a libertação de oxigénio e consumo de dióxido de carbono. Ao constituírem um elemento de arrefecimento do edifício, permitem diminuir o recurso a aparelhos de ar condicionado e por sua vez diminuir também o dióxido de carbono por eles produzido;
- Redução da carga poluente: a camada superficial destas estruturas, composta por vegetação, possui qualidades filtrantes que permitem diminuir as partículas poluentes da atmosfera poluída da cidade. O substrato detém também propriedades de filtração dos nitratos e de outras partículas poluentes prevenindo, assim a sua dissipação e contaminação de meios hídricos;
- Amenização do ruído: as coberturas verdes podem ser muito vantajosas para aplicação em zonas de tráfego intenso, nas proximidades de aeroportos e junto de zonas industriais, pois funcionam como um isolador de som natural capaz de absorver mais som que as coberturas tradicionais. De acordo com a ZinCo[®] a redução de som pode atingir os 3dB e o isolamento sonoro pode aumentar até 8dB;
- Criação de um habitat natural: as coberturas ajardinadas são um instrumento de naturalização, atuando como medida compensatória da diminuição de espaços verdes decorrente do crescimento do volume de construção. Podem também funcionar

³ Fenómeno climático que ocorre nos centros urbanos, que se traduz num aumento da temperatura devido à substituição da vegetação natural por áreas impermeabilizadas e edificações que promovem a concentração do Homem e das suas atividades nesse local.

como um elemento benéfico para a biodiversidade, na criação de um habitat natural para pássaros e insectos, devolvendo e integrando a natureza em ambientes urbanos.

Outra das grandes áreas em que as coberturas verdes se revelam vantajosas é a nível financeiro. Assim podem destacar-se os seguintes benefícios específicos:

- Redução da dimensão dos sistemas de drenagem: uma vez que parte da água recolhida é utilizada para consumo pelas plantas e a restante poderá ser utilizada para usos domésticos que não requerem água potável, existe uma diminuição significativa do caudal afluente à rede de drenagem, evitando possíveis obras de maximização do sistema de drenagem. No entanto, em termos regulamentares, é necessário manter um diâmetro mínimo dos coletores para o caudal de projeto;
- Redução dos custos com a manutenção dos edifícios: a cobertura verde garante a proteção do sistema de impermeabilização do edifício contra temperaturas extremas e exposição à radiação solar. Assim, é possível aumentar o tempo de vida útil dos sistemas de impermeabilização dos edifícios e reduzir os custos de manutenção relacionados com esta estrutura;
- Melhoria do desempenho energético: esta técnica permite manter intervalos de temperatura mais amenos, reduzindo assim a frequência e a intensidade com que se recorre a aparelhos artificiais de regulação da temperatura interior e o custos de energia a eles associados;
- Aumento do espaço útil: quando acessíveis, as coberturas ajardinadas possibilitam a utilização deste espaço como jardins de passeio, parques recreativos e até mesmo para atividades desportivas sem que seja necessário a ocupação de outros terrenos para estes fins.

Quando aplicadas em estações de tratamento de águas residuais, como é exemplo a ETAR de Alcântara (Figura 14), as coberturas verdes desempenham um papel fulcral no controlo dos odores, particularmente importante quando localizadas em áreas na proximidade de locais públicos ou habitações. Neste caso, as coberturas verdes têm a vantagem de constituírem um isolamento térmico capaz de regular a temperatura no interior da ETAR e ainda de atenuarem o impacto paisagístico causado por estruturas em betão destas dimensões.

3.4.1.2. Desvantagens das coberturas verdes

As desvantagens desta técnica relacionam-se, principalmente, com a forma como as coberturas são construídas. Quando a impermeabilização não é realizada adequadamente, podem ser transferidos problemas de humidade graves para o interior das habitações e para a estrutura do edifício.

É necessário garantir também uma manutenção adequada de rega, no caso de grandes épocas de estio e quando o tipo de vegetação assim o necessitar, por forma a evitar que a vegetação seque. Deve também assegurar-se a não propagação de ervas daninhas que resultem na morte de outras plantas e ainda efetuar-se periodicamente o corte das áreas relvadas e possíveis podas de árvores e arbustos.

Outro dos inconvenientes inerentes às coberturas verdes é o seu custo face às coberturas tradicionais. Estas coberturas são compostas por diversos elementos, como o sistema de impermeabilização ou a camada drenante, com custos elevados, não só de fabricação, como também na aplicação *in-situ*. Os custos podem sofrer uma grande variação em função do tipo de vegetação selecionada para a camada de superfície.

3.4.2. Poços de infiltração

Os poços de infiltração constituem uma das técnicas locais de controlo na origem e cujo objetivo é a infiltração direta das águas pluviais no solo. São normalmente aplicados em locais em que a camada superficial do solo apresenta uma baixa ou nula permeabilidade mas dispõem de uma boa capacidade de infiltração em camadas a uma maior profundidade.

Os poços de infiltração constituem estruturas cilíndricas de profundidade e diâmetro variável consoante as características do solo e o volume de água a ser infiltrado. O seu interior pode ou não conter um material de enchimento, que permite aumentar a capacidade de armazenamento embora seja sempre reduzida comparativamente a outras técnicas. A capacidade de armazenamento temporária está também dependente das condições do solo, das condições de afluência do solo e do material de enchimento. Devem também ser dotados de uma saída para encaminhamento do volume de escoamento em excesso para o sistema de

drenagem convencional e de uma cobertura segura à superfície para evitar acidentes, podendo ser aberta para trabalhos de manutenção pelos elementos responsáveis.

No que diz respeito ao revestimento, os poços de infiltração podem ser divididos em dois tipos:

- Poços não revestidos: as paredes do poço não possuem qualquer revestimento, sendo neste caso obrigatório um material de enchimento para conferir estabilidade às paredes do poço;
- Poços revestidos: após a escavação é colocado um revestimento nas paredes do poço, geralmente constituído por manilhas de betão, tijolos assentados em crivo ou pneus usados. Neste tipo de poços o enchimento é opcional, no entanto recomenda-se utilização de um filtro geotêxtil na base, para garantir alguma capacidade de filtração nos casos em que não é utilizado um material granular filtrante como enchimento, ou no topo para evitar a colmatação do enchimento e prolongar a vida útil do poço de infiltração.

Os poços de infiltração podem ser utilizados a nível urbano, para garantir o escoamento ao nível dos arruamentos e de espaços públicos ou ainda ao nível das edificações em ligação com os tubos de queda, quer seja mais superficialmente, quer seja no subsolo de edifícios, desde que a profundidade à qual estão instalados não coloque em risco as fundações do edifício ou a via pública. Em alternativa, pode ser associado aos sistemas de aproveitamento de água pluvial domésticos, sendo o poço de infiltração instalado a jusante do reservatório de água pluvial, por forma a receber e infiltrar a água excedente do reservatório.

A implementação dos poços de infiltração em associação com outras técnicas de controlo podem permitir uma maior eficácia e oferecer soluções viáveis para quando a implantação de um só sistema não é adequada ou suficiente. Alguns exemplos que se podem salientar são a utilização dos poços de infiltração na base de bacias de infiltração ou trincheiras de infiltração, quando a permeabilidade do solo à superfície não é suficiente para garantir a infiltração do volume de água retido pela estrutura em causa (Figura 15).

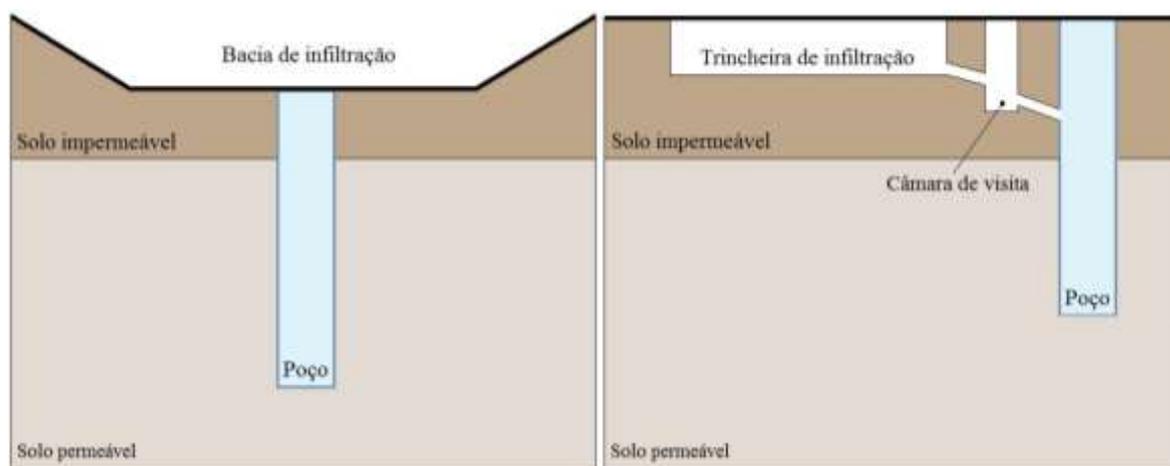


Figura 15 - Poço de infiltração em associação com uma bacia de infiltração e uma trincheira de infiltração

3.4.2.1. Vantagens dos poços de infiltração

Os poços de infiltração constituem uma opção vantajosa para zonas em que a área disponível é limitada, pois são um sistema com uma estrutura pontual e vertical, cuja área de implantação em planta é bastante reduzida, sendo esse o fator que leva a que sejam classificadas como estruturas de baixo impacto a nível paisagístico. Por esta razão, a sua implantação é especialmente indicada para comunidades urbanas, com grande densidade de construção.

Estabelecem pontos de recarga dos aquíferos que permitem manter o balanço hídrico natural e, no caso dos poços de infiltração com material de enchimento que permitem a filtração dos poluentes, melhoram ainda a qualidade da água pluvial, comparativamente com o sistema de drenagem convencional.

3.4.2.2. Desvantagens dos poços de infiltração

Uma vez que este tipo de técnica tem como principal objetivo a infiltração de água nas camadas mais profundas do solo, o excesso de humidade no maciço terroso pode acarretar uma diminuição significativa da sua resistência e a erosão interna do solo devido ao fluxo concentrado e conseqüentemente provocar o colapso estrutural do solo. Desta forma, é fulcral um estudo prévio para análise das características do solo e uma avaliação de possíveis riscos que a infiltração de água pode causar nas fundações das construções próximas.

Outras desvantagens dos poços de infiltração são:

- A capacidade reduzida de armazenamento temporário;
- No caso dos poços que possuam enchimento, a necessidade de manutenção de forma assídua para evitar a colmatação;
- A possibilidade de contaminação dos aquíferos, em particular quando o poço não possui um enchimento com uma capacidade filtrante.

3.4.3. Microrreservatórios

Os microrreservatórios são estruturas destinadas ao armazenamento de água, cuja implantação poderá ser isolada ou em associação com outras técnicas de captação de águas da chuva. A denominação microrreservatórios deve-se ao facto de constituírem sistemas de retenção com um baixo volume de armazenamento comparativamente com outro tipo de sistemas, como é o caso das bacias de retenção subterrâneas (vulgarmente designadas por reservatórios).

Estes dispositivos possuem como principal objetivo o armazenamento de água pluvial para posterior utilização em finalidades que não exijam o uso de água potável. Permitem ainda atenuar os picos do volume de água pluvial, gerados pela precipitação intensa, constituindo desta forma uma medida de compensação da capacidade de retenção perdida pelas bacias hidrográficas, devido à impermeabilização dos solos, minimizando possíveis cheias e inundações.

Uma das utilizações mais frequentes dos microrreservatórios é a sua integração nos SAAP a nível residencial (Figura 16). A água é captada nos telhados ou em pavimentos e após ser filtrada, quer seja por processos mais simples como *first-flush*⁴ ou por processos de filtração mais complexos, é direcionada para o microrreservatório, onde é armazenada temporariamente. O microrreservatório permite o fornecimento de água não potável para fins tais como rega, lavagens de passeios ou descargas de autoclismos, devendo estar ligado à rede pública de drenagem urbana para descarregar o volume excedente. O dimensionamento destas estruturas passa pela determinação do volume aproveitável na superfície de recolha bem como do volume consumido pelos utilizadores, tal como demonstrado no ponto 5.3.3. da presente dissertação.

⁴ Rejeição do volume de água correspondente à primeira chuvada que contém uma maior carga poluente.



Figura 16 - Reservatório de água da chuva numa instalação de SAAP

Fonte: www.acquasave.com.br

Em termos de localização, os microrreservatórios podem ser apoiados, elevados ou enterrados. Sendo esta componente a mais dispendiosa de todo o sistema de aproveitamento, é importante a realização de um estudo prévio que englobe fatores como a localização, a capacidade de armazenamento, os materiais constituintes e o tipo de fornecimento de água. Assim, para que seja garantida a maior eficiência possível, o microrreservatório deverá estar localizado num ponto mais favorável entre o fornecimento e o consumo e consoante se opte por um fornecimento de água da chuva por gravidade ou por bombagem, o microrreservatório deverá estar elevado ou enterrado, respetivamente.

Quando estes dispositivos se encontram à superfície são evitados os custos associados à escavação do terreno, no entanto, quando expostos à luz solar direta, a água no seu interior fica sujeita a um incremento de temperatura que estimula a proliferação de algas e bactérias e consequentemente a diminuição da qualidade da água (Bertolo, 2006). Por outro lado, para além da qualidade da água ser superior e mais indicada para o aproveitamento e reutilização noutros fins, os microrreservatórios enterrados apresentam uma maior durabilidade pois não estão sujeitos a fenómenos meteorológicos, contudo, a sua implantação poderá estar condicionada quando o local apresenta um solo rochoso ou níveis dos lençóis freáticos elevados.

Estes reservatórios podem ser construídos em betão armado, alvenaria de tijolos ou derivados plásticos, contudo a seleção do material deve ter em linha de conta fatores como a durabilidade, estanquidade e a não toxicidade. A cobertura do microrreservatório deve também ser vedada de modo a prevenir a evaporação e a entrada de insectos ou répteis. É importante garantir que o fundo do microrreservatório seja dotado de um compartimento de deposição de partículas, já que enquanto a água permanece no microrreservatório está sujeita a processos de sedimentação. Este compartimento deverá ser sujeito a uma manutenção frequente para remoção das lamas acumuladas.

Para além da aplicação em lotes residenciais, os microrreservatórios são usualmente aplicados em espaços públicos como ruas, praças e passeios pedonais em associação com o sistema de drenagem convencional. Este tipo de microrreservatórios permite corrigir as insuficiências do sistema de drenagem convencional e minimizar possíveis obras de requalificação e expansão da rede.

Os microrreservatórios de drenagem podem ser classificados de acordo com a sua localização face ao sistema de drenagem em *on-line* ou *off-line*. Os primeiros encontram-se dispostos em série, ou seja, na mesma linha que o sistema de drenagem, enquanto que os microrreservatórios *off-line* são implantados paralelamente ao sistema de drenagem e armazenam a água que é desviada deste. Em termos de funcionamento e de benefícios, as duas categorias de microrreservatórios são semelhantes, estando portanto a opção por cada um dos tipos de microrreservatórios unicamente dependente de critérios relacionados com o local de implantação, já que as características do solo podem ser um entrave à construção destes dispositivos em alguns locais.

Os projetistas de microrreservatórios podem ainda optar por microrreservatórios compostos por duas células, uma delas funcionando *on-line* e a outra *off-line*. Cada uma das células está dividida por uma parede central com um descarregador de superfície e uma válvula de pressão no fundo. Assim, quando a primeira célula atinge a sua capacidade máxima, a água é direcionada para a segunda célula através do descarregador de superfície. Após a descarga da primeira célula para o sistema de drenagem, a redução do nível de água provoca um alívio de pressão na válvula, que permite que a segunda célula seja escoada, ficando assim as duas células vazias e disponíveis para receber novamente o escoamento de água.

Em termos construtivos, a implantação dos microrreservatórios de drenagem é feita abaixo do nível das vias ou passeios e permite a recolha das águas resultantes da escorrência superficial, através de sistemas de gradeamento que executam uma filtragem prévia dos detritos de maior dimensão (Figuras 17 e 18). O volume de água recolhido é armazenado temporariamente no microrreservatório, sendo posteriormente encaminhado para o sistema de drenagem. O microrreservatório de drenagem deverá ser concebido considerando dois aspetos fundamentais: o caudal máximo que pode ser lançado no sistema de drenagem e a capacidade necessária para assegurar o armazenamento do volume correspondente à diferença entre o hidrograma de entrada e o de saída.

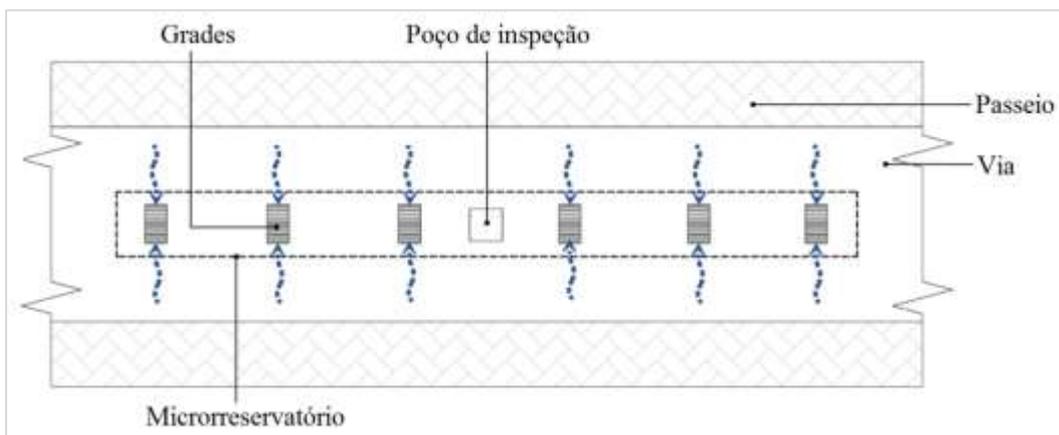


Figura 17 - Planta de implantação de um microrreservatório na via pública

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (adaptado)

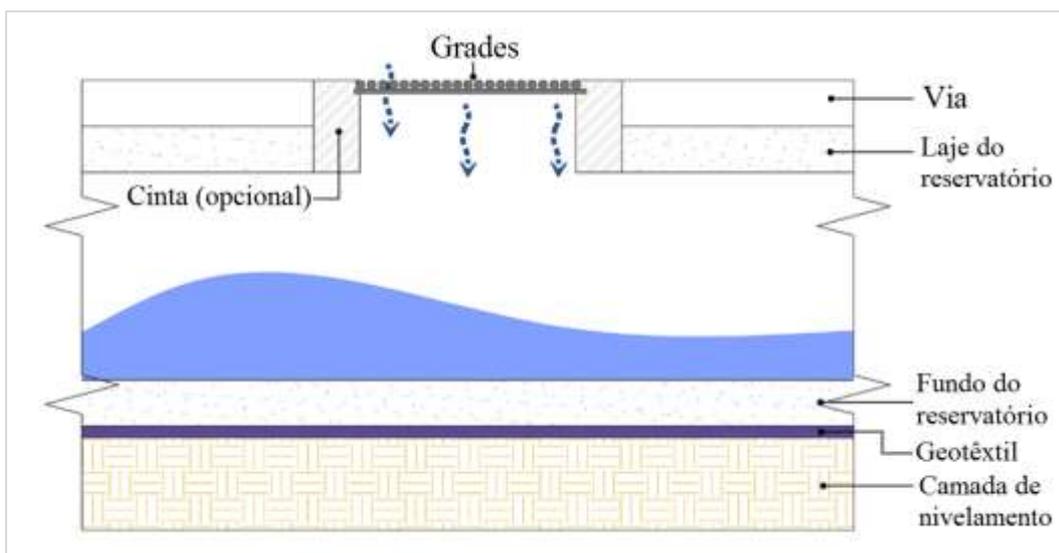


Figura 18 - Corte transversal de um microrreservatório na via pública

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (adaptado)

3.4.3.1. Vantagens dos microrreservatórios

A vantagem mais saliente dos microrreservatórios é o facto de possibilitarem a reutilização do volume de água armazenado para outros fins quer em uso doméstico, quer em usos urbanos como a proteção contra o fogo, irrigação de jardins e lavagem de ruas quando implantados em locais públicos. Ao constituírem uma estrutura de armazenamento do escoamento superficial, contribuem para atenuação do pico de cheia e para o alívio do sistema de drenagem a jusante, que resulta numa restauração da capacidade de armazenamento dissipada ao longo dos anos devido à excessiva ocupação do solo. Outro dos benefícios dos microrreservatórios é o facto de desempenharem um controlo na fonte, permitindo um armazenamento no local de precipitação sem que sejam gerados problemas a jusante.

No que respeita aos microrreservatórios de drenagem instalados na via pública para além das vantagens mencionadas anteriormente, são estruturas que causam pouca interferência no uso e ocupação do solo, por se tratarem de estruturas subterrâneas com um pequeno volume de armazenamento e cuja implantação é viável mesmo em locais em que a disponibilidade de espaço seja baixa. São estruturas projetadas para receber esforços e tráfego de veículos pesados sem provocar danos na via pública.

3.4.3.2. Desvantagens dos microrreservatórios

O facto de na maioria dos casos estas estruturas serem subterrâneas, pode constituir um benefício mas também acarreta alguns inconvenientes nomeadamente a nível económico, já que implicam custos elevados de implantação relacionados com a escavação, estabilização e nivelamento do solo.

São estruturas que carecem de uma manutenção frequente, como a limpeza do compartimento no fundo do reservatório para remoção dos sedimentos, por forma a manter um correto desempenho. No caso dos microrreservatórios instalados na via pública é também necessária uma desobstrução das grades situadas à superfície.

No que respeita à qualidade da água, constituem uma técnica que oferece poucas opções para a redução da carga poluente, nomeadamente substâncias dissolvidas e sedimentos finos. Quando os microrreservatórios são unicamente estruturas de armazenamento temporário não destinadas a reutilização, a ausência de um local de destino para a descarga do volume

regularizado de água nas proximidades, seja este uma rede de drenagem ou um curso de água, pode constituir uma limitação à sua implantação. Outra das limitações prende-se com a declividade do terreno, já que não é aconselhável a construção de microrreservatórios em terrenos muito íngremes, a não ser que sejam implementadas medidas de estabilização dos taludes.

3.4.4. Pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis têm como principal característica a sua permeabilidade, tal como o nome indica, sendo essa a sua grande vantagem perante os pavimentos tradicionais. São constituídos essencialmente por três camadas onde ocorre a infiltração da água pluvial, desde a camada de desgaste mais superficialmente, passando pela camada de assentamento constituída por um filtro granular, até à camada de base constituída por rocha de onde a água segue para se infiltrar no solo ou ser conduzida para o sistema de drenagem.

A camada de desgaste pode ser constituída fundamentalmente por quatro diferentes tipos de estrutura:

- Pavimento intertravado de blocos de betão: Neste tipo de camada de desgaste a infiltração de água pode ocorrer através das juntas porosas, pelos orifícios verticais que alguns tipos de blocos possuem ou ainda através de todo bloco quando este é constituído por betão poroso. Este tipo de camada é aplicada sobretudo em passeios e parques de estacionamento (Figuras 19 e 20).

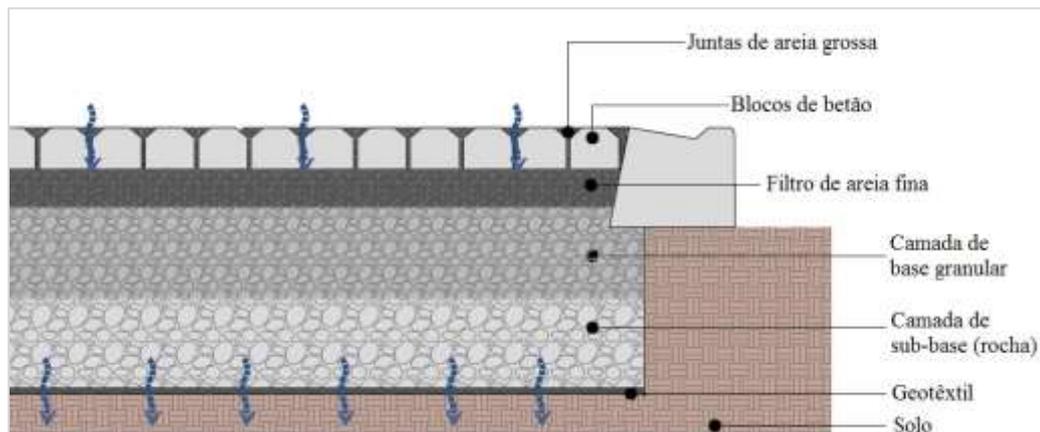


Figura 19 - Estrutura de um pavimento intertravado de blocos de betão

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (adaptado)



Figura 20 - Aplicação de pavimento de blocos de betão

Fonte: www.rhinopisos.com.br/site

- Pavimento de betão poroso: O revestimento de betão poroso apresenta alta porosidade, o que permite uma rápida infiltração de água, já que o coeficiente de permeabilidade atinge valores entre os 0,2 e os 0,9 m/s (Virgiliis, 2009). Este tipo de betão é constituído por uma pasta cimentícia que possui um baixo ou mesmo nulo teor de finos e com um teor de vazios na ordem dos 15% a 25%. Uma vez que se trata de um betão com menor capacidade resistente, apenas pode ser aplicado em locais com menor solicitação de carga, tais como ciclovias, campos polidesportivos e parques de estacionamento com baixo tráfego. Neste tipo de pavimentos a camada de betão pode ser substituída por asfalto poroso, no entanto este pode revelar-se menos eficaz do ponto de vista da porosidade quando o ligante é muito fluído, já que pode ocorrer a escorrência dentro desta camada, que leva à colmatação dos vazios (Figuras 21 e 22).

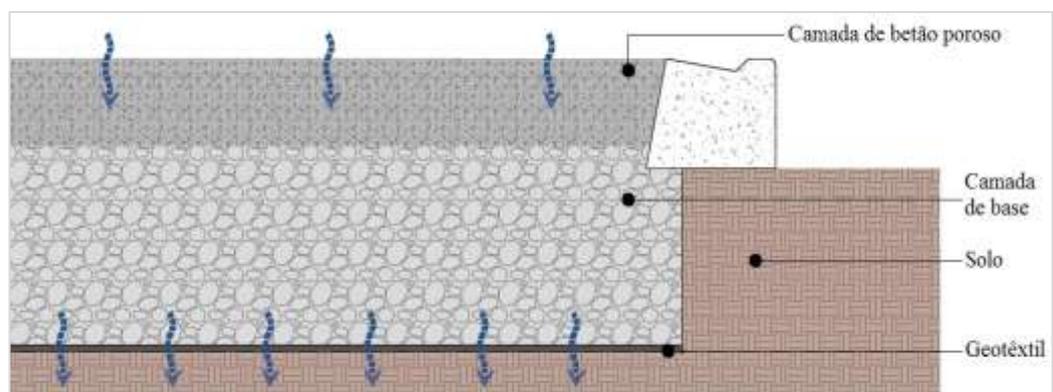


Figura 21 - Estrutura de um pavimento de betão poroso

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (adaptado)



Figura 22 - Aplicação de betão poroso num parque de estacionamento

Fonte: www.solucoesparacidades.com.br

- Pavimento modular de blocos de betão vazados: consiste na implantação em forma de grelha ou desenho simétrico de módulos de betão com aberturas que permitem o preenchimento com agregados ou gramíneas. São normalmente aplicados em passeios e parques de estacionamento e possuem alta durabilidade e porosidade. No entanto, face ao seu custo mais dispendioso em comparação com os blocos de betão intertravados são utilizados em menor escala (Figura 23).



Figura 23 - Aplicação de blocos de betão vazados em zona de estacionamento

Fonte: www.casadamoldurabirigui.com.br

- Pavimento com geocélulas plásticas: é constituído por tiras de polietileno de alta densidade (PEAD) que formam painéis tridimensionais, semelhantes a colmeias, e cujo preenchimento pode ser feito com areia, brita, solo, ou gramíneas conforme o tipo de utilização pretendida. Dado que as tiras de PEAD ocupam uma área muito pequena da superfície, a porosidade deste tipo de pavimento está apenas dependente do material poroso com que é preenchido. A sua utilização é menos frequente em virtude da sua baixa resistência e da superfície rugosa resultante do preenchimento com areia ou brita não ser a mais adequada à circulação de veículos, sendo portanto aplicado sobretudo em acessos pedonais (Figura 24).



Figura 24 - Pavimento de geocélulas com preenchimento granular

Fonte: www.turnaboutdrives.co.uk/driveways

No que diz respeito à funcionalidade e à sua finalidade, atualmente os pavimentos permeáveis podem dividir-se em três sub-categorias: - pavimentos permeáveis com função única de infiltração; - pavimentos permeáveis com ligação ao sistema de drenagem; - pavimentos permeáveis ligados a reservatórios para aproveitamento de água.

Os pavimentos permeáveis de infiltração total são aplicados em zonas em que o solo possui uma grande capacidade de infiltração. Para que este tipo de sistema seja eficiente é necessário garantir que as camadas de base e sub-base possuam capacidade de armazenamento temporário da diferença entre o volume de água infiltrado através da superfície de desgaste e o volume de água infiltrado no solo (Virgiliis, 2009).

Os pavimentos permeáveis com ligação ao sistema de drenagem são utilizados em solos com baixa capacidade de infiltração. É colocado um coletor na camada de base que faz a ligação ao sistema de drenagem, sendo que pode existir uma infiltração parcial da água que não é recolhida pelo coletor ou não existir infiltração no solo quando a estrutura do sistema incorpora uma manta impermeabilizante entre a camada de base e o solo (Figura 25).

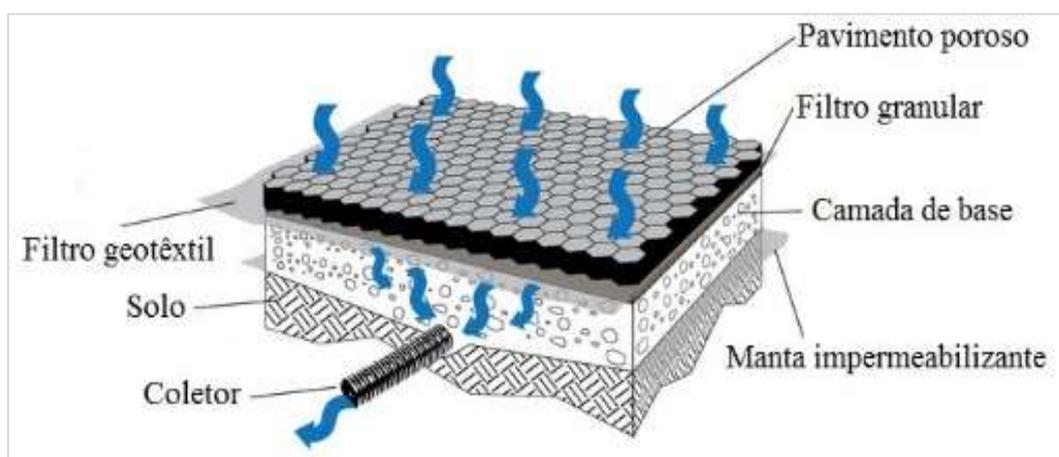


Figura 25 - Estrutura de um pavimento poroso com ligação ao sistema de drenagem

Fonte: www.naturalpaving.co.nz (adaptado)

Os pavimentos permeáveis cuja finalidade é o aproveitamento de água pluvial, tal como os anteriores, têm na sua estrutura um coletor inserido na camada de base, mas neste caso encontra-se ligado a reservatórios para armazenamento da água pluvial. Como a água é filtrada na camada de assentamento através da areia e na camada de base através da pedra britada, esta adequa-se para fins não potáveis. Quando a estrutura do pavimento permeável, para além das camadas granulares filtrantes, inclui também geotêxtil, resultam quatro tipos de tratamento da água pluvial: filtração, adsorção, biodegradação e sedimentação (Tomaz, 2009).

3.4.4.1. Vantagens dos pavimentos permeáveis

A aplicação dos pavimentos permeáveis a nível urbano pode gerar inúmeros benefícios que englobam essencialmente três vertentes: - a segurança rodoviária; - a qualidade ambiental; - o benefício económico.

A nível rodoviário, os pavimentos permeáveis podem representar uma melhoria na segurança e conforto de condução, devido à diminuição das poças de água, da quantidade de

água no piso e da quantidade de tempo em que o piso se encontra molhado, o que se traduz nos seguintes benefícios diretos:

- Diminuição dos riscos de aquaplanagem e projeção de água;
- Melhoria da aderência entre o veículo e o piso e conseqüentemente diminuição da distância de travagem;
- Melhoria na visibilidade das marcas nas vias, pois elimina o efeito espelho;
- Redução dos níveis de emissão de ruído.

Numa vertente ambiental, os benefícios passam por:

- Diminuição de cheias e inundações, por serem sistemas que valorizam sobretudo a infiltração de água, a retenção temporária de água nas suas camadas ou o aproveitamento e armazenamento em reservatórios. Estes pavimentos permitem uma redução do volume de escoamento de 15 a 30% (Costa, 2010);
- Redução do efeito ilha de calor;
- Recarga dos aquíferos subterrâneos;
- Melhoria da qualidade da água infiltrada devido à filtração ocorrida nas diferentes camadas constituintes do pavimento permeável (Tabela 2).

Tabela 2 - Percentagem de remoção de poluentes da água nos pavimentos permeáveis

Fonte: Matos (2000)

Tipo de poluentes	Percentagem de remoção
Sólidos suspensos	50 a 90%
Carga orgânica	50 a 70%
Metais pesados (chumbo, mercúrio, etc.)	75 a 95%

Por fim, numa vertente económica, destaca-se como principal vantagem a redução das dimensões do sistema de drenagem a jusante e o facto de alguns destes sistemas, como é o caso do pavimento intertravado de blocos de betão ou do pavimento de blocos vazados, quando removidos e caso estejam em boas condições, poderem ser reaproveitados e aplicados noutros locais. Nesta perspetiva, e embora seja um benefício indirecto que nem sempre pode ser garantido, é de salientar a poupança económica decorrente da diminuição de inundações e dos danos causados por estas.

3.4.4.2. Desvantagens dos pavimentos permeáveis

Um dos maiores inconvenientes desta solução permeável reside no custo da fabricação e aplicação desta estrutura, bem como no custo a longo prazo, uma vez que no caso dos pavimentos modulares de blocos de betão intertravados ou vazados é necessária uma manutenção de limpeza para evitar a colmatação dos orifícios porosos e, nos pavimentos de betão ou asfalto poroso, recorre-se a equipamentos de sucção a vácuo e jatos de alta pressão para manter a porosidade do pavimento.

Os pavimentos permeáveis têm por norma uma menor durabilidade, face aos pavimentos tradicionais, já que podem estar sujeitos a deformação e a sua eficiência vai diminuindo ao longo do tempo devido à colmatação, o que pode implicar custos de reparação, substituição ou de limpeza dos orifícios porosos e posterior preenchimento com areia.

Outra desvantagem no que concerne aos pavimentos permeáveis em que há infiltração, diz respeito à possibilidade de contaminação do lençol freático. É portanto importante evitar a aplicação destes sistemas em zonas cujas utilizações do solo levem a uma concentração elevada de poluentes, como é o caso de postos de abastecimento de combustível, áreas de manutenção de veículos, marinas e locais de armazenamento industrial.

Segundo Tomaz, 2009, surgem também limitações na aplicação desta técnica, nomeadamente o facto de não poder ser aplicada em zonas de tráfego pesado ou em locais de circulação de veículos com velocidades superiores a 50 km/h e também em locais com grandes declives. Também em zonas com lençóis freáticos altos e perante situações de elevada precipitação a subida do nível da água pode por em causa o funcionamento deste sistema.

Em suma, os pavimentos permeáveis são uma importante medida para o aproveitamento da água pluvial e para a maximização da capacidade de infiltração do solo, no entanto, são projetados para substituir áreas impermeáveis e não para gerir águas pluviais das outras superfícies. Assim sendo, o recurso a esta técnica não deve constituir um elemento isolado mas sim ser parte integrante de um sistema global de gestão da água da chuva.

3.4.5. Trincheiras de infiltração

As trincheiras de infiltração, também denominadas de trincheiras de percolação, são estruturas longitudinais, cujo principal objetivo é aumentar a infiltração de água pluvial, contribuindo para uma drenagem urbana mais eficaz e para a atenuação de picos de cheia. Esta solução engloba três etapas desde a captação das águas pluviais provenientes do escoamento superficial, passando pelo armazenamento temporário na trincheira e culminando com a infiltração no solo.

As trincheiras de infiltração são constituídas por uma vala escavada na terra, cuja profundidade máxima admissível está dependente de fatores como o tipo de solo e a porosidade do enchimento, sendo o intervalo recomendado de 0,90m e 2,40m. É de salientar que a profundidade máxima da trincheira também está dependente do lençol freático subjacente, já que é recomendável que o fundo da trincheira se encontre no mínimo a 1,20m acima do lençol freático. O método de dimensionamento destas estruturas encontra-se demonstrado no ponto 5.3.1. da presente dissertação.

A estrutura das trincheiras de infiltração inclui o preenchimento, normalmente realizado com matérias granulares tais como brita ou areia grossa. Este tipo de materiais permite o armazenamento temporário de um volume elevado de água pluvial, no entanto, a sua porosidade pode sofrer um decréscimo significativo ao longo do tempo devido ao fenómeno de colmatação, comprometendo a sua funcionalidade e eficiência. Em países em que existe uma maior aplicação destas soluções, é usual a substituição da matéria granular por estruturas modulares feitas a partir de derivados de plástico, muito leves e resistentes à deterioração e cuja porosidade se encontra entre os 80 e os 95%, valor muito superior aos verificados nos materiais granulares como é o caso da brita cuja porosidade é de 35% (Flores, 2015), tornando a estrutura mais proveitosa do ponto de vista da capacidade de armazenamento. De entre estas estruturas de preenchimento salientam-se o ecodreno e os módulos Nidaplast® (Figura 26).



Figura 26 - Módulos Nidaplast® em polipropileno para preenchimento de trincheiras de infiltração, Fonte: Nidaplast®

Por forma a minimizar a passagem de sedimentos finos que levam à colmatção dos vazios do material granular ou das estruturas modulares plásticas, a estrutura das trincheiras de infiltração contempla ainda um revestimento com um filtro geotêxtil (Figura 27). Este componente tem particular importância na redução de riscos de contaminação do lençol freático, já que os sedimentos onde estão concentrados grande parte dos poluentes ficam retidos.

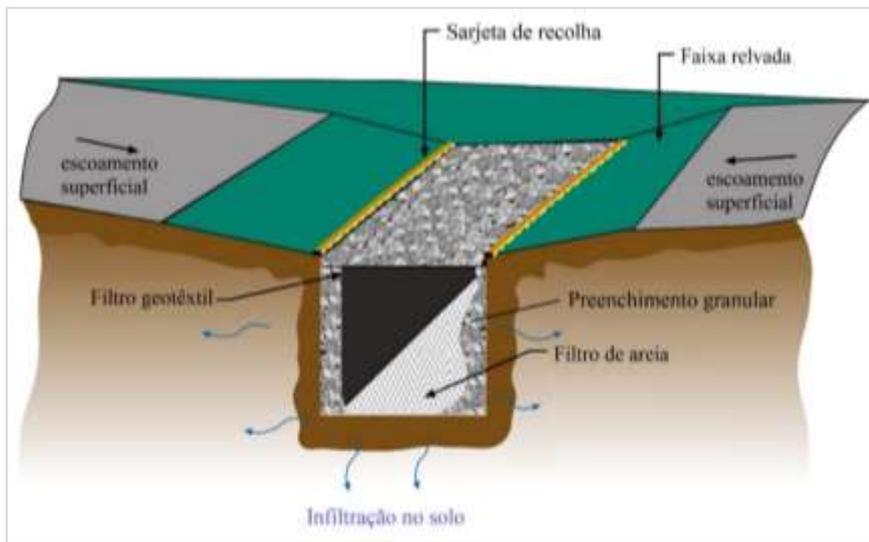


Figura 27 - Estrutura de uma trincheira de infiltração
Fonte: Aquafluxus (adaptado)

A cobertura das trincheiras de infiltração desempenha um papel fundamental na qualidade das águas, sendo necessário o conhecimento da composição da água afluyente a este tipo de sistemas para proceder à seleção de um material adequado e eficaz na remoção dos sedimentos. A cobertura pode ser constituída por grelhas metálicas com aberturas de tamanho variável, blocos de material poroso, material granular como brita ou seixo ou uma cobertura vegetal. Para auxiliar no processo de remoção da carga poluente, em muitos casos, as trincheiras de infiltração são munidas de estruturas colocadas a montante, que permitem um pré-tratamento, tal como a filtração quando são aplicadas faixas relvadas ou a decantação no caso da aplicação de bacias de decantação.

Em termos de funcionamento, a água pluvial é coletada na superfície ou através de um sistema de recolha como as sarjetas, percolando através do preenchimento onde fica retida durante um intervalo de tempo e daí é infiltrada pela base e/ou pelas paredes da estrutura. Em alternativa, a trincheira de infiltração também poderá ser impermeabilizada e dotada de um coletor, por forma a encaminhar a água recolhida e tratada até ao sistema de drenagem ou para ser devolvida a um meio hídrico natural.

Para que a capacidade hidráulica das trincheiras seja mantida, é necessária uma manutenção periódica. Esta é realizada através da inserção de um tubo perfurado de PVC com abertura nos topos, desde a superfície até à base, que permite a observação do nível de água na trincheira e a contabilização do tempo que leva para baixar, fornecendo desta forma a velocidade de infiltração na trincheira, que deverá estar compreendida entre os 7,6mm/h e os 60mm/h (Tomaz, 2016). Quando a taxa de infiltração é reduzida, significa que o preenchimento da trincheira e/ou o filtro geotêxtil envolvente se encontram colmatados, sendo portanto necessário proceder à sua correção através da substituição dos materiais da trincheira.

As trincheiras de infiltração podem ser divididas em duas sub-categorias:

- Superficiais: normalmente aplicadas em zonas residenciais em que a água afluyente possui uma menor carga poluente, sendo esta praticamente removida apenas pelas faixas relvadas e pela superfície de recolha;
- Subterrâneas: são implantadas em zonas urbanas e com maior tráfego viário, já que a sua estrutura de drenagem, assim como a superfície de entrada e preenchimento mais complexos, permitem uma maior retenção da carga poluente e nomeadamente de sedimentos e óleos.

Esta técnica é normalmente utilizada em jardins, acessos pedonais e ao longo da rede viária, por forma a minimizar o volume de água afluyente à rede de drenagem e também em parques de estacionamento (Figura 28).



Figura 28 - Aplicação de trincheira de infiltração em parque de estacionamento

Fonte: www.landscapeperformance.org

3.4.5.1. Vantagens das trincheiras de infiltração

As trincheiras constituem uma importante medida de mitigação da impermeabilização dos solos, podendo contribuir para a redução de acontecimentos como cheias e inundações, já que podem ser implantadas em grandes áreas longitudinalmente, possuindo portanto uma grande capacidade em termos de volume de água coletado.

Esta técnica pode originar ainda mais benefícios tais como:

- A grande capacidade de armazenamento e infiltração das águas pluviais, permitindo uma recarga do lençol freático, a diminuição dos sistemas de drenagem a jusante e o amortecimento do pico do hidrograma de cheia;
- O baixo custo e a simplicidade dos materiais constituintes e da implantação;
- O longo período de vida útil, já que quando a sua efetividade baixa devido à colmatação podem ser refeitas com um novo preenchimento, sendo que esta

manutenção representa um baixo custo. Quando as trincheiras são abandonadas, podem possuir ainda alguma capacidade de infiltração, embora em pequenas quantidades;

- A baixa ou nula interferência paisagística, sendo que quando possuem uma cobertura vegetal assemelham-se a jardins, constituindo um efeito paisagístico interessante. Além disso e face à sua capacidade resistente, a área em planta sobre a trincheira pode ser utilizada para outros fins, nomeadamente quando é constituída por grelhas metálicas ou blocos de material poroso;
- A grande capacidade de remoção de agentes poluentes. Segundo Tomaz (2016), as eficiências de remoção podem tomar valores entre os 75-90% para as bactérias, entre os 70-80% para a Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO5) e entre os 75-90% para metais pesados e sólidos suspensos totais (SST).

3.4.5.2. Desvantagens das trincheiras de infiltração

Os principais inconvenientes deste método estão relacionados com a sua implantação, uma vez que as trincheiras de infiltração só devem ser implantadas em terrenos estabilizados e que não tenham sido sujeitos a aterro. Para além disso, antes da implantação da trincheira de infiltração é necessário analisar a profundidade do lençol freático bem como a permeabilidade do solo, pois no caso de esta ser baixa, o período de tempo de retenção na trincheira é muito elevado, podendo pôr em causa a sua eficiência perante a ocorrência de precipitações consecutivas.

Outra das limitações está relacionada com o fenómeno de colmatção. Se não for realizada uma manutenção periódica e a substituição do material de enchimento, quando a água afluyente possui uma elevada concentração de sedimentos, pode ocorrer a colmatção dos vazios do material de enchimento e do filtro geotêxtil, comprometendo a eficácia da estrutura.

É importante salientar o cuidado que se deve ter perante as trincheiras de infiltração que se situam na proximidade da rede viária ou de parques de estacionamento, uma vez que as escorrências que contém metais pesados, óleos e hidrocarbonetos, quando não corretamente tratadas e encaminhadas para infiltração podem culminar na contaminação do lençol freático ou de outros meios hídricos.

3.4.6. Faixas relvadas

As faixas relvadas também denominadas faixas filtrantes, consistem em áreas de vegetação ligeiramente inclinadas e adjacentes a superfícies impermeáveis. Têm como principal objetivo a redução da velocidade do escoamento superficial, a melhoria da qualidade da água e promover a infiltração da água no solo, constituindo uma importante técnica para a recarga dos aquíferos, além de gerar benefícios estéticos e paisagísticos, agregando áreas verdes a zonas urbanas (Figura 29).

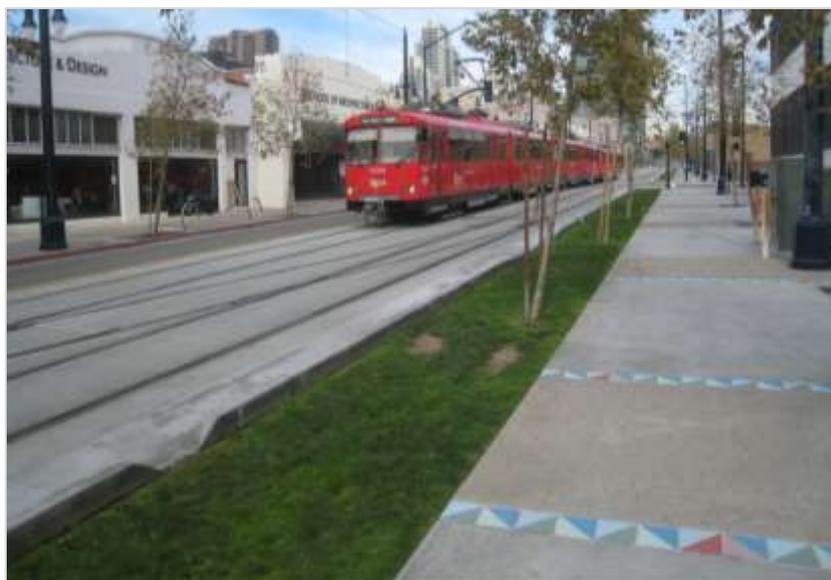


Figura 29 - Faixa relvada paralela à rede viária

Fonte: www.3riverswetweather.org

Nas faixas relvadas ocorrem diversos processos físicos, químicos e biológicos que permitem que grande parte da carga poluente do escoamento seja removida, evitando assim a contaminação do lençol freático. De entre os processos de tratamento que ocorrem nestas faixas salienta-se o processo de adsorção de partículas pela vegetação, a decomposição da matéria orgânica e a filtração dos sedimentos, não só na ramagem mas também os de menor dimensão nas raízes. Embora os dados acerca da eficiência das faixas relvadas sejam diminutos, estima-se que a remoção de sólidos suspensos totais seja de 50%, de fósforo total 20% e de metais pesados de 40% (Tomaz, 2010a). No entanto, a eficácia na remoção da quantidade de carga poluente está dependente, essencialmente de dois fatores, as dimensões da faixa, largura e comprimento, como também o tempo que decorre desde que o escoamento afluí à faixa relvada

até que é infiltrado. As fórmulas de dimensionamento desta técnica encontram-se exemplificadas no ponto 5.3.2. da presente dissertação.

Originalmente esta prática foi desenvolvida para ser aplicada em zonas agrícolas, no entanto tornou-se numa técnica de controlo de águas pluviais, aplicada num contexto urbano. As faixas relvadas são usualmente aplicadas paralelamente à rede viária e em associação com o sistema de drenagem convencional. Desta forma diminui-se significativamente a quantidade de água nas vias, contribuindo para a segurança rodoviária.

Outra das aplicações desta técnica é ao nível dos lotes privados em ligação com os tubos de queda, para promover a infiltração da água recolhida no telhado, no entanto recomenda-se que a infiltração seja feita pelo menos a 5m da habitação, por forma a não influenciar as fundações. Hoje em dia, as faixas relvadas são comumente utilizadas como pré-tratamento associado a outras técnicas, como é o caso das trincheiras de infiltração.

Em termos construtivos, a implantação de faixas relvadas tem algumas limitações que devem ser consideradas aquando a realização do projeto. Para além de ser necessário averiguar a permeabilidade do solo, de acordo com o *Idaho Department of Environment Quality* (2005), devem ser respeitados alguns aspetos:

- As faixas devem ter inclinações inferiores a 6%;
- A área que contribui para o escoamento deverá ser inferior a 2 ha;
- Não devem ser usadas em encostas com inclinações superiores a 10%, por forma a manter velocidades de escoamento baixas;
- A distância mínima ao lençol freático é de 1,50m;
- O comprimento da faixa relvada deverá estar compreendido entre 4,5m e os 23m.

Para que seja garantido o correto funcionamento da faixa relvada é necessário assegurar uma manutenção frequente que passa pelo corte da relva, conforme necessário, desde que não exceda os 5cm de altura, por forma a manter um aspeto estético e facilitar a circulação da água. Após a primeira grande chuvada e posteriormente, com uma periodicidade mensal, devem ser retirados os sedimentos para garantir a capacidade de infiltração projetada. Em caso de erosão ou dano na relva, esta deve ser substituída e durante a época de estio deverá ser regada. A

eficiência da faixa relvada está também dependente da dificuldade de se manter um escoamento laminar sobre a faixa.

3.4.6.1. Vantagens das faixas relvadas

As faixas relvadas podem apresentar inúmeros benefícios, sejam aplicadas isoladamente ou como pré-tratamento em conjugação com outras técnicas, tais como:

- A remoção parcial de sedimentos e outros poluentes associados ao escoamento de águas pluviais;
- Constituem áreas permeáveis que promovem o aumento da infiltração de água com uma menor carga poluente;
- Possuem um baixo custo de investimento e grande simplicidade de projeto e construção;
- Requerem uma manutenção muito simples e com pouca frequência;
- Constituem uma área verde, adicionando um efeito paisagístico interessante;
- Podem ser dotados de drenos para facilitar a infiltração, permitindo que a água se infiltre com maior rapidez, sendo útil sobretudo após a ocorrência de precipitações intensas;
- Permitem a recarga dos aquíferos.

3.4.6.2. Desvantagens das faixas relvadas

As faixas relvadas têm o inconveniente de possuir uma capacidade de armazenamento muito reduzida e quando aplicadas de forma isolada não permitem atenuar picos de cheia nem têm uma importância significativa na mitigação de inundações. Outras desvantagens que podem ser associadas a este tipo de técnica passam por:

- Quando o caudal afluente é elevado e a altura de escoamento grande, o seu funcionamento é diminuído;
- Quando adequadamente projetadas, possuem uma grande área de implantação para garantir um tratamento eficaz, não constituindo portanto uma boa opção para áreas muito urbanizadas.

3.4.7. Bacias de retenção

As bacias de retenção são estruturas de regularização que têm como principal objetivo a atenuação dos picos de cheia, por forma a evitar riscos de cheias e inundações e proteger o sistema de drenagem e as populações a jusante. Caracterizam-se pelo seu funcionamento estanque, permitindo o armazenamento de grandes volumes de água e a posterior restituição a jusante de caudais compatíveis com a capacidade do sistema de drenagem ou do meio hídrico recetor (Matias, 2006).

São normalmente construídas em áreas altamente impermeabilizadas e densamente povoadas e têm o grande benefício de a água pluvial armazenada poder ser conduzida para reservatórios e posteriormente utilizada para fins não potáveis a maior escala, nomeadamente a nível industrial.

De acordo com Matos, 2008, a classificação das bacias de retenção pode ser realizada em função de vários parâmetros:

- Quanto à sua localização ao nível do solo:
 - bacias a céu aberto ou superficiais: quando a impermeabilização é realizada em betão ou outro material de elevada resistência e, no caso de funcionar a seco uma grande parte do tempo, podem desempenhar outras funções, como áreas de lazer ou para a prática de atividades desportivas;
 - bacias subterrâneas ou cobertas: são implantadas em zonas urbanas densamente povoadas, nas quais a implantação de uma bacia a céu aberto seria difícil ou mesmo impossível, em virtude da escassa disponibilidade de terreno. Ao possuírem uma cobertura, estas bacias permitem que área em planta sobrejacente seja utilizada para outros fins. As bacias subterrâneas são comumente denominadas de reservatórios face à sua implantação enterrada e à estrutura de betão que a constitui (Figura 30).

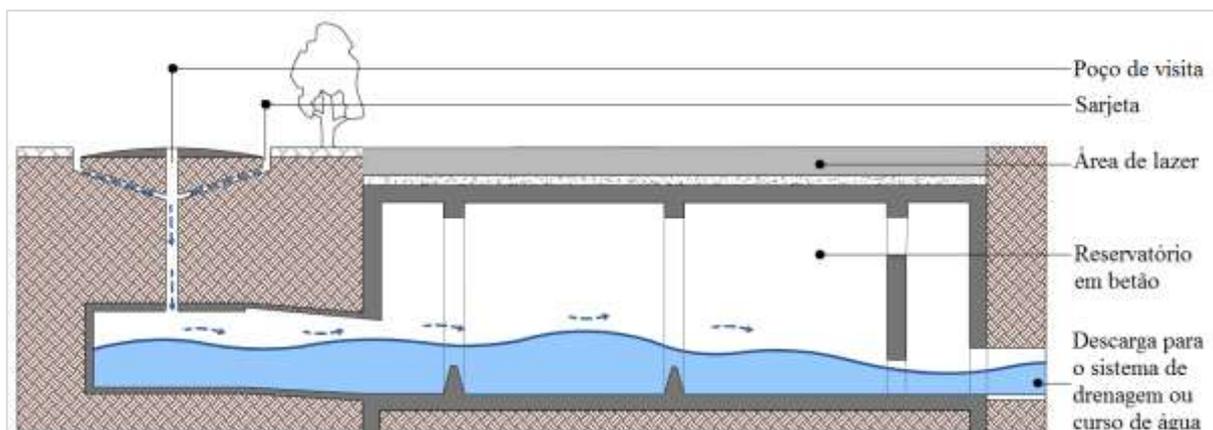


Figura 30 - Estrutura de uma bacia de retenção subterrânea

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (adaptado)

- Quanto ao comportamento hidráulico: as bacias a céu aberto permitem dois tipos de funcionamento:
 - a seco: quando a lâmina de água se restringe ao período de chuva, sendo o volume de água afluente escoado num curto período de tempo. Em épocas de estio, o estado seco permite a utilização desta área para outras de atividades;
 - com nível de água permanente: garantem uma reserva de água, já que a massa de água é armazenada na bacia durante períodos de tempo mais significativos, sendo apenas escoada em função do volume de água afluente de modo a manter a sua capacidade (Figura 31).



Figura 31 - Bacia de retenção com nível de água permanente, Fonte: www.hidrotecsl.com

- Quanto à sua localização ao nível do canal de drenagem:
 - bacias em paralelo (ou off-line): são construídas nas margens ou paralelamente ao curso de água, sendo implantadas em locais em que a disponibilidade de área é restrita, já que a sua base é construída a uma maior profundidade, o que permite o armazenamento de um maior volume de água. Como o fundo da bacia se situa a uma cota inferior à do canal de drenagem, este tipo de bacia implica a utilização de um sistema de bombagem para que possa ser esvaziada, maximizando os custos de implantação e manutenção;
 - bacias em série (ou on-line): são implementadas ao longo ou sobre o curso de água e a sua utilização é feita em regiões periféricas ou áreas pouco urbanizadas, em que o volume de água a armazenar não justifica a construção de bacias em paralelo.

As bacias de retenção possuem uma grande capacidade de tratamento da carga poluente da água afluente, pois estão envolvidos uma grande quantidade de processos químicos, físicos e microbiológicos. Assim, podem destacar-se os seguintes:

- Sedimentação: permite a redução dos sólidos suspensos, resultando na diminuição do grau de turvação da água;
- A conjugação de efeitos, tais como a transferência de oxigénio água-atmosfera, a atividade fotossintética das espécies vegetais contidas na massa de água e os gastos envolvidos no processo de oxidação da matéria orgânica em condições aeróbias que permitem grandes variações na concentração de oxigénio.
- O armazenamento de água a céu aberto permite a atuação de fatores como a temperatura e a radiação solar, que em junção com o processo de sedimentação e a própria competição biológica permitem uma redução significativa da quantidade de microorganismos, nomeadamente de bactérias patogénicas.

3.4.7.1. Vantagens das bacias de retenção

As bacias de retenção constituem uma técnica de controlo centralizado, que ao envolver grandes volumes de água permite que os seus efeitos, em particular no controlo de cheias e inundações e da carga poluente descarregada para o meio hídrico, sejam mais notórios. No entanto, esta técnica gera muitos outros benefícios, sejam eles de carácter técnico, ambiental, social ou económico e dos quais se pode salientar:

- O facto de permitir descarregar caudais muito inferiores aos que entram em regime de ponta, minimizando a ocorrência de inundações;
- A criação de espelhos de água com interesse estético e recreativo, como por exemplo para a prática de pesca e canoagem;
- Podem ser facilmente implementados, já que os lagos existentes em jardins e parques podem ser utilizados como bacias de retenção, permitindo a integração nas redes de drenagem já existentes;
- O aumento da qualidade da água pluvial, devido aos seus efeitos depurativos, nomeadamente do ponto de vista de redução do teor de sólidos em suspensão e de matéria orgânica;
- A existência de uma grande variedade de usos possíveis, como por exemplo a rega, limpezas municipais, a reutilização de água para fins não potáveis em unidades industriais e o apoio ao combate de incêndios;
- Causam pouca interferência no tráfego de veículos e no funcionamento de atividades de comércio e serviços;
- Permitem também evitar obras de remodelação ou de reforço da rede de drenagem de água pluviais em zonas onde esta se encontra subdimensionada.

3.4.7.2. Desvantagens das bacias de retenção

O principal inconveniente deste tipo de técnica passa pela frequência e o tipo de manutenção que lhe é exigido. Embora esteja dependente do tipo de bacia e das suas especificidades, a manutenção engloba um conjunto significativo de operações, sendo exemplo:

- O controlo da afluência à bacia de águas de origem não pluvial;
- A recolha de corpos flutuantes;
- A limpeza de dispositivos inseridos a montante da entrada da bacia, como desarenadores, gradeamentos e retentores de óleo;
- A proteção e limpeza da base da bacia, bem como das bermas e taludes adjacentes;
- O controlo da qualidade da água armazenada.

A ausência de uma manutenção assídua pode promover a proliferação de bactérias e de outros microorganismos patogénicos, podendo pôr em causa a saúde pública. A falta de limpeza

e de controlo da bacia pode também ser entendida como “abandono” por parte da população, levando a que o terreno possa ser utilizado para o depósito ilegal de lixo e entulho.

No caso de bacias em que haja a necessidade de elevação por bombagem para a descarga no sistema de drenagem ou no meio hídrico, a falha no sistema de bombagem, em particular em eventos contínuos de precipitação ou em caso de precipitações intensas, pode causar inundações, já que a capacidade de armazenamento da bacia pode ser excedida.

Outra das desvantagens passa pela perda de água por evaporação, que embora constitua um fenómeno natural de devolução da água ao ciclo hidrológico, pode revelar-se desfavorável quando a retenção de água visa o aproveitamento de água pluvial para outros fins.

Por fim, a grande área de implantação que estas estruturas necessitam, em particular quando estão localizadas a céu aberto, pode ser desvantajosa do ponto de vista da disponibilidade de terrenos em áreas urbanas para estruturas desta envergadura. Em alguns casos, para que seja possível a construção de bacias de retenção pode ser necessária a expropriação de terrenos que implica custos elevados.

3.4.8. Bacias de infiltração

As bacias de infiltração têm como principal objetivo a regularização de caudais e a atenuação dos picos de cheia, no entanto, e diferentemente das bacias de retenção, não apresentam um comportamento estanque. As bacias de infiltração podem ser encaradas como uma sub-categoria das bacias de retenção, já que em termos estruturais e de implantação são semelhantes, no entanto e tal como o nome indica, a finalidade deste tipo de bacias é promover a infiltração.

O projeto de implantação de uma bacia de infiltração deve incluir uma análise não só da quantidade de água afluente, mas também da permeabilidade do solo, para que a dimensão da bacia e conseqüentemente a sua capacidade, seja capaz de garantir um armazenamento temporário da diferença entre o volume de água infiltrado e o volume de água afluente. Estas bacias podem ser dotadas de descarregadores de superfície para que numa situação de elevada pluviosidade, a capacidade da bacia não seja excedida e a água acumulada possa ser conduzida para o sistema de drenagem, evitando assim possíveis inundações das áreas circundantes. A

metodologia de dimensionamento das bacias de infiltração encontra-se exemplificada no ponto 5.3.4. da presente dissertação.

Face às bacias de retenção, as bacias destinadas à impermeabilização têm a grande vantagem de constituírem uma área permeável que permite a recarga dos lençóis freáticos, no entanto, em épocas de estio ou em que a ocorrência de chuva é diminuta ou muito espaçada no tempo, não permite o armazenamento de água para outros usos.

3.4.9. Sistemas de biorretenção

Os sistemas de biorretenção ou também conhecidos como jardins de chuva – “*Rain Gardens*”, são sistemas que recorrem à utilização da atividade biológica de plantas e microorganismos com vista à remoção dos poluentes. Permitem uma retenção temporária do escoamento, contribuindo para a melhoria da qualidade da água infiltrada. São constituídos por uma depressão pouco profunda na terra, coberta por vegetação e por norma são aplicados em associação com a rede viária ou junto a passeios pedonais, por forma a garantir melhores condições de segurança (Anexo I). Os sistemas de biorretenção podem também ser implantados em lotes residenciais com ligação aos tubos de queda, garantindo que a água recolhida no telhado seja infiltrada com menores níveis de poluição.

No que respeita ao funcionamento, o escoamento é direcionado para o sistema de biorretenção através de sarjetas ou pequenas calhas com superfície em grelha metálica, onde se acumula formando poças. É nesta etapa que ocorre a remoção da carga poluente através de processos como a filtração, adsorção, volatilização, troca de iões e decomposição de matéria orgânica. Após o tratamento, a água pode ser infiltrada no solo para recarga do lençol freático ou transportada através de um coletor para o sistema de drenagem. No caso de o volume de água precipitada afluente ao sistema exceder a capacidade para a qual o estrutura foi projetada, estes sistemas estão dotados de um tubo com um dreno de superfície permitindo que a água seja encaminhada diretamente para o sistema de drenagem (Figura 32).



Figura 32 - Sistema de biorretenção com dreno de superfície, Fonte: Aquafluxus

Segundo Dunnet e Clayden (2007), a estrutura dos sistemas de biorretenção deve ser composta por seis camadas distintas desde a superfície até ao solo:

- Camada superficial onde se encontra a ramagem da vegetação, que pode ser constituída por gramíneas, plantas rasteiras e arbustos de pequeno porte. A vegetação deve ser capaz de resistir a períodos de seca e de chuvas intensas, bem como ao excesso de poluentes;
- Solo rico em nutrientes para garantir a sobrevivência da vegetação;
- Camada de areia para estimular a infiltração e a redistribuição da água no solo;
- Manta geotêxtil que permite a retenção de finos decorrentes do processo de infiltração;
- Camada formada por um material granular (brita, cascalho ou seixo) que permite o armazenamento temporário da água previamente à infiltração.
- Local onde a água infiltrada possa ser utilizada para recarga dos aquíferos ou encaminhada para armazenamento.

A manutenção destes sistemas implica a poda das plantas, a reposição do solo no caso de erosão, ou substituição do solo no caso de colmatação devido à acumulação de sedimentos. Deve também ser efetuada com alguma periodicidade a limpeza e remoção dos resíduos sólidos.

3.4.9.1. Vantagens dos sistemas de biorretenção

Ao incorporar a vegetação, esta técnica é usualmente bem aceite por parte da população, por constituir um elemento verde que permite introduzir o conceito de naturalização nas cidades em contraposição ao excesso de betão e asfalto das zonas excessivamente urbanizadas.

Os benefícios destes sistemas são inúmeros e não passam apenas pela requalificação urbana, podendo salientar-se os seguintes:

- Contribuição no aumento da beleza paisagística, por constituir um sistema com acabamento vegetal;
- Redução significativa do escoamento superficial de ruas e passeios, oferecendo melhores condições de segurança aos utilizadores;
- Elevada eficiência na remoção da carga poluente da água (sedimentos finos, metais, nutrientes e bactérias);
- Grande flexibilidade de aplicação, nomeadamente em zonas anteriormente impermeabilizadas;
- Redução da quantidade de água afluyente ao sistema de drenagem a jusante e consequente diminuição do tamanho da rede ou de custos de ampliações futuras;
- Minimização dos riscos de inundações.

3.4.9.2. Desvantagens dos sistemas de biorretenção

Tal como as técnicas anteriores, também os sistemas de biorretenção possuem algumas limitações que quando não previstas na fase de projeto podem gerar diversos inconvenientes para os utilizadores. De entre as limitações destes sistemas é importante destacar que:

- Possuem baixa a média capacidade de armazenamento de água, não devendo ser aplicados em zonas com grandes áreas de contribuição;
- Podem sofrer uma rápida colmatação em zonas com grande aporte de sedimentos, sendo nestes casos aconselhável a colocação a montante de estruturas de pré-tratamento como as faixas relvadas;
- Em locais onde a área destinada ao tráfego ou à circulação de peões é limitada, os sistemas de biorretenção devem ser evitados pois reduzem ainda mais a área disponível para o tráfego.

4. ANÁLISE MATRICIAL COMPARATIVA DAS TÉCNICAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Perante a quantidade de técnicas existentes para o aproveitamento de água da chuva em meio urbano e descritas no capítulo anterior, torna-se importante aferir até que ponto a sua implantação poderá ser profícua em determinado local e quais os benefícios associados a cada técnica e que a distinguem face às demais. Algumas estruturas de aproveitamento de água da chuva podem revelar-se mais proveitosas do ponto de vista económico, enquanto outras oferecem mais vantagens a nível ambiental, social ou técnico.

Assim, será necessário realizar uma análise comparativa das diversas técnicas, de acordo com as suas características e forma de responder favoravelmente a determinados critérios, de modo a obter uma relação entre cada parâmetro de comparação e a técnica que melhor lhe corresponde.

4.1. Parâmetros de comparação entre as principais técnicas

A análise comparativa está dependente da definição de parâmetros que englobem todas as técnicas indicadas anteriormente. De acordo com a caracterização das técnicas de aproveitamento de água da chuva e os benefícios e inconvenientes que estas acarretam, foram definidas quatro classes de parâmetros (Tabela 3). Cada uma das classes contém variáveis descritivas que possibilitam aferir a relação e o grau de atendimento favorável entre técnica e parâmetro, ou seja, se a estrutura de aproveitamento de água da chuva tem um desempenho benéfico, mais ou menos elevado, relativamente a cada um dos parâmetros de comparação, ou em alguns casos, se o parâmetro de comparação não se aplica à técnica em questão, por esta não apresentar características que levem ao desempenho dessa função.

Tabela 3 - Definição e caracterização das classes de parâmetros de comparação

Classes de parâmetros	Características
Técnicos	Análise dos benefícios em termos funcionais, numa perspetiva de garantia do correto funcionamento do meio urbano e da diminuição de situações de risco.
Económicos	Análise dos custos envolvidos na implantação e na garantia do funcionamento das estruturas ao longo da sua vida útil, de modo a aferir a relação custo-benefício.
Ambientais	Análise dos benefícios para a proteção dos meios hídricos e da biodiversidade, do ponto de vista da sustentabilidade, por forma a preservar o ambiente para as gerações futuras.
Sociais	Análise dos benefícios para a população e para o meio urbano como comunidade.

4.1.1. Parâmetros técnicos

- Mitigação do risco de inundações: consiste num parâmetro quantitativo, que permite avaliar a capacidade de armazenamento e infiltração e a sua influência na diminuição de situações de risco e possíveis danos perante ocorrência de precipitações intensas;
- Maior eficácia do sistema de drenagem: pretende-se com este parâmetro avaliar a quantidade de água que é recolhida pela estrutura, armazenada e utilizada para outros fins, assim como a água que é infiltrada e que desta forma não será encaminhada para o sistema de drenagem, permitindo um correto desempenho da rede de drenagem urbana e evitando custos de possíveis obras de ampliação desta.

4.1.2. Parâmetros económicos

- Baixos custos de investimento: a avaliação deste parâmetro pretende aferir se os custos com a fabricação da estrutura, materiais constituintes, mão-de-obra necessária para a sua implantação e outros equipamentos suplementares têm um custo baixo e favorável. Em alguns casos, é importante considerar também os custos associados à compra do terreno de

implantação ou custos de expropriação quando a estrutura a implantar tiver um carácter público;

- Baixos custos de manutenção: neste parâmetro incluem-se todos os custos com trabalhos de limpeza, avaliando a sua periodicidade, bem como a reposição ou substituição de materiais necessários ao longo da vida útil do dispositivo, que permitem o seu correto desempenho;
- Benefício económico indireto: com este parâmetro pretende-se avaliar a poupança financeira não só para o utilizador individual, como também para os órgãos de gestão pública. Inclui a diminuição de possíveis ampliações da rede de drenagem, a minimização dos danos económicos causados por episódios de cheias e inundações (destruição de habitações, veículos, atividades económicas e património histórico e cultural). No caso da reutilização da água da chuva a partir dos microrreservatórios para usos não potáveis, diminui-se o recurso à água do abastecimento público e consequentemente diminuem também os custos associados ao tratamento desse volume de água. É de salientar ainda que ao promoverem a infiltração, algumas técnicas permitem a minimização do caudal afluyente às ETAR, especialmente no caso de sistemas unitários, e os custos que o tratamento desse volume de água implicaria.

4.1.3. Parâmetros ambientais

- Diminuição da carga poluente dos meios hídricos: pretende-se aferir o grau de atendimento de cada uma das técnicas no que diz respeito à capacidade que dispõem para tratamento da água. Avalia-se portanto os processos de remoção de poluentes existentes em cada uma delas, bem como a sua eficiência;
- Redução no consumo de água potável: relaciona-se com o aproveitamento de água pluvial, que para além de constituir um benefício económico, é também vantajoso do ponto de vista ambiental. O atendimento a este parâmetro está dependente da possibilidade de encaminhamento da água recolhida pela superfície ou estrutura para um reservatório de água pluvial, que possibilitará a utilização para consumos de água não potável como rega, lavagens de exteriores, descargas de autoclismos ou mesmo

utilizações a nível industrial. Assim, quanto maior for a utilização da água da chuva para estas atividades, menor será o recurso a água potável, o que permite um consumo mais sustentável deste bem. As técnicas de aproveitamento de água pluvial destinadas unicamente à infiltração terão um grau de atendimento nulo neste parâmetro;

- Recarga de aquíferos: este parâmetro só poderá ser atendido pelas técnicas que permitem a infiltração, avaliando-se portanto, de forma quantitativa, de que modo cada uma das estruturas permite que o escoamento seja encaminhado para os lençóis freáticos e culmine na reposição dos aquíferos e na conservação destes reservatórios subterrâneos naturais;
- Efeito de naturalização: parâmetro que se relaciona com a introdução de vegetação em cidades com um elevado grau de urbanização, seja em áreas impermeabilizadas ou nas superfícies de edifícios (paredes e coberturas), por forma a recuperar a envolvência da natureza no meio urbano e amenizar os impactos do crescimento populacional. Este efeito permite também atenuar possíveis incrementos da temperatura e minimizar o efeito ilha de calor.

4.1.4. Parâmetros sociais

- Efeito paisagístico: pretende-se com este parâmetro avaliar o efeito visual que cada uma das técnicas poderá introduzir, como a introdução de um espaço verde ou espelho de água, o nível de inovação e o potencial para propiciar novas paisagens ou lugares atrativos para contemplação;
- Requalificação urbana: com este critério pretende-se analisar as potencialidades de cada uma das estruturas para serem aplicadas em áreas degradadas ou abandonadas, por forma a reabilitar estas áreas para outros usos, aumentando assim a quantidade de zonas úteis da cidade;
- Compatibilização com outros usos: parâmetro que determina se cada uma das técnicas é capaz de harmonizar o espaço de forma a possibilitar o uso humano para atividades de lazer, lúdicas e desportivas ou mesmo como superfícies para parques de estacionamento.

4.2. Matriz de comparação

Os parâmetros de comparação e as nove técnicas de aproveitamento de água da chuva descritas durante este trabalho, foram agrupadas numa matriz (Tabela 4) para que esta proporcione uma leitura gráfica e de análise simples. Espera-se que esta matriz seja uma ferramenta que possa ser utilizada pelos projetistas e decisores, se chamados a analisar a viabilidade destas técnicas numa determinada comunidade urbana.

O preenchimento da matriz e a relação parâmetro-técnica foi elaborada segundo uma pontuação que avalia o grau de atendimento do ponto de vista do benefício. Assim define-se a seguinte pontuação com quatro graus de atendimento, consoante este seja mais ou menos elevado:

- “0” – grau de atendimento nulo ou não aplicável;
- “x” – grau de atendimento reduzido;
- “xx” – grau de atendimento satisfatório;
- “xxx” – grau de atendimento excelente.

A atribuição da pontuação relaciona-se também com a escala em que o parâmetro é atendido, ou seja, técnicas de controlo centralizado, são instrumentos de maior dimensão e que englobam naturalmente um maior impacto.

É de referir que a comparação entre as diversas técnicas de aproveitamento de água da chuva e atribuição de uma classificação em cada um dos parâmetros foi realizada com base na pesquisa bibliográfica realizada ao longo desta dissertação. Sendo assim, a esta análise comparativa está associada alguma subjetividade, por constituir uma opinião de carácter pessoal e que poderá variar consoante a perspectiva do autor.

Tabela 4 - Matriz de comparação das técnicas de aproveitamento de água da chuva

PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO	TÉCNICAS	Coberturas verdes	Poços de infiltração	Microreservatórios	Pavimentos permeáveis	Trincheiras de infiltração	Faixas relvadas	Bacias de retenção	Bacias de infiltração	Sistemas de biorretenção
Parâmetros técnicos										
Mitigação do risco de inundações		xx	xx	xx	xx	xx	xx	xxx	xxx	x
Maior eficácia do sistema de drenagem		xx	xx	xx	x	xxx	xxx	xx	xxx	x
Parâmetros económicos										
Baixos custos de investimento		x	xx	x	x	xx	xxx	X	x	xx
Baixos custos de manutenção		x	xxx	x	x	xx	xxx	X	xx	xx
Benefícios económicos indirectos		xxx	xx	xxx	x	xx	x	xxx	xxx	x
Parâmetros ambientais										
Diminuição da carga poluente dos meios hídricos		xxx	x	x	xxx	xxx	xxx	xx	x	xxx
Redução do consumo de água potável		xxx	0	xxx	xx	0	0	xxx	0	xx
Recarga de aquíferos		0	xx	0	x	xxx	xx	0	xxx	xx
Efeito de naturalização		xxx	0	0	x	xx	xxx	xxx	x	xxx
Parâmetros sociais										
Efeito paisagístico		xxx	0	0	xx	x	xxx	xxx	xx	xxx
Requalificação urbana		xxx	0	0	xx	0	xx	xxx	xxx	xxx
Compatibilização com outros usos		xx	0	0	xxx	x	xx	xxx	xxx	0

4.3. Análise de resultados

A matriz de comparação efetuada permite verificar as técnicas de aproveitamento de água da chuva mais vantajosas, contudo, não é possível aferir as mais benéficas na globalidade dos parâmetros, ou seja, as que obtiveram a pontuação mais elevada no somatório do grau de atendimento de todos os critérios avaliados, uma vez que cada classe de parâmetros poderá ter pesos diferentes consoante a função a desempenhar e o local em que se insere. Assim, a análise dos resultados da matriz de comparação será realizada em particular para cada um dos quatro parâmetros avaliados.

4.3.1. Parâmetros técnicos

No que respeita aos parâmetros técnicos, as estruturas de aproveitamento de água da chuva com um grau de atendimento mais elevado são as bacias de infiltração, seguidas das bacias de retenção, trincheiras de infiltração e faixas relvadas com o mesmo grau de atendimento. Estas técnicas são mais vantajosas do ponto de vista dos parâmetros técnicos, uma vez que se tratam de técnicas lineares de controlo na origem e técnicas de controlo centralizado, que envolvem o controlo de um maior volume de água e que por essa razão permitem que haja um maior benefício na mitigação de inundações ou na diminuição da rede de drenagem.

As bacias de infiltração destacaram-se neste parâmetro, já que a água afluenta a estas estruturas tem, por norma, como único destino a infiltração, constituindo desta forma uma grande área permeável que permite uma significativa diminuição da quantidade de água afluenta ao sistema de drenagem, o que garante uma maior eficácia do funcionamento deste. Em situações de ocorrência de fenómenos de precipitação intensa, estas estruturas têm uma grande capacidade de armazenamento temporário da água, sendo esta uma enorme vantagem do ponto de vista da mitigação do risco de inundações.

No caso das trincheiras de infiltração e faixas relvadas, embora constituam técnicas de infiltração que permitem uma maior eficácia do sistema de drenagem por diminuírem a quantidade de água afluenta a estes órgãos, a sua capacidade de armazenamento temporário é diminuta comparativamente com as técnicas de controlo centralizado (bacias de infiltração e bacias de retenção), e daí que o grau de atendimento atribuído no parâmetro “Mitigação do risco de inundações” tenha sido satisfatório e não excelente.

4.3.2. Parâmetros económicos

Quanto aos parâmetros económicos, as técnicas de aproveitamento de água da chuva com um grau de atendimento mais elevado na totalidade dos três critérios avaliados nesta classe são os poços de infiltração conjuntamente com as faixas relvadas.

No que diz respeito ao campo relacionado com os custos de investimento, o grau de atendimento é excelente para as faixas relvadas e satisfatório para os poços de infiltração. Isto deve-se ao facto de as faixas relvadas constituírem uma técnica superficial e de grande simplicidade de projeto e construção que embora possam ser muito extensas, o único material utilizado é a própria relva (em semente ou em tapete), sendo este um material bastante económico. No caso dos poços de infiltração, o seu grau de atendimento é satisfatório, pois apesar de ser uma técnica local de controlo na origem com um área de implantação muito reduzida, carece de uma maior quantidade de materiais (com ou sem preenchimento) e a sua construção implica ainda o custo relacionado com a escavação do terreno, que será tanto maior quanto mais profundo for o poço.

Em relação aos custos de manutenção, ambas as técnicas mais pontuadas nesta classe de parâmetros possuem um grau de atendimento excelente, que se deve ao facto de serem estruturas com uma exigência de manutenção muito baixa, comparativamente com as restantes. No caso dos poços de infiltração, apenas é exigida manutenção nos poços que possuem enchimento para substituição deste quando ocorre colmatção, enquanto nas faixas relvadas somente é necessário o corte da relva com alguma frequência, para que se mantenha o seu desempenho, e a reposição de algumas áreas de relva, caso se encontrem danificadas.

Por último, no que concerne aos benefícios económicos indiretos, ainda que existam outras técnicas mais vantajosas neste campo, como as coberturas verdes, os microrreservatórios, as bacias de retenção e as de infiltração, as mais benéficas na globalidade dos parâmetros económicos – poços de infiltração e faixas relvadas – possuem um grau de atendimento satisfatório e reduzido, respetivamente. A pontuação mais baixa neste critério resulta do facto de serem instrumentos de menor escala, cujo volume de água gerido é significativamente menor comparativamente com as restantes técnicas de maiores dimensões já mencionadas. Ao constituírem técnicas de infiltração, os poços de infiltração e as faixas relvadas, não permitem, por si só, o aproveitamento para reutilização da água noutros fins e

ainda que possam ter alguma influência na diminuição da afluência à rede pública de drenagem, a sua baixa capacidade de armazenamento revela-se pouco eficaz perante ocorrências de precipitação intensa.

4.3.3. Parâmetros ambientais

Em relação ao atendimento dos parâmetros ambientais, as técnicas de aproveitamento de água da chuva mais vantajosas são os sistemas de biorretenção, seguidos das coberturas verdes e as trincheiras de infiltração. Nesta categoria, destacaram-se sobretudo as técnicas associadas ao efeito de naturalização, efeito este estreitamente ligado com o fator ambiental.

Analisando o primeiro campo da classe de parâmetros ambientais, “Diminuição da carga poluente dos meios hídricos”, o grau de atendimento atribuído às três técnicas destacadas anteriormente foi excelente, já que são técnicas em que está envolvido um grande número de processos físicos, químicos e biológicos, possibilitando uma melhoria significativa da água infiltrada, armazenada para reutilização ou encaminhada para a rede de drenagem.

No que se refere à redução do consumo de água potável, algumas das técnicas apresentam um grau de atendimento nulo por não permitirem o aproveitamento da água da chuva para reutilizações em outros fins, como é o caso das trincheiras de infiltração. Neste campo, às coberturas verdes e aos sistemas de biorretenção foram conferidos um grau de atendimento excelente e satisfatório, respectivamente. Esta diferença deve-se ao facto de as coberturas verdes serem usualmente mais vocacionadas para o encaminhamento para os microrreservatórios, enquanto os sistemas de biorretenção embora também possam desempenhar essa função, normalmente funcionam como dispositivos de armazenamento prévio à descarga na rede pública de drenagem.

A recarga de aquíferos é uma característica somente associada às técnicas que permitem a infiltração da água através do lençol freático, não sendo portanto aplicável a técnicas em que a água se destina unicamente ao armazenamento e posterior descarga na rede de drenagem, como são exemplo as coberturas verdes. Entre as técnicas mais benéficas a nível ambiental na sua totalidade, salientam-se as trincheiras de infiltração e os sistemas de biorretenção por se tratarem de estruturas direccionadas para a infiltração, permitindo desta forma que o volume de

água precipitado e recolhido penetre no solo, mantendo as reservas subterrâneas de água existentes.

Nesta classe, foi ainda avaliado o efeito de naturalização associado as técnicas que permitem a inserção de um acabamento superficial constituído por vegetação em zonas construídas. Neste parâmetro, as coberturas verdes e os sistemas de biorretenção foram pontuados com um grau de atendimento excelente por terem um impacto positivo na reposição de vegetação e no aumento da biodiversidade em comunidades urbanas com um grande volume de construção. As trincheiras de infiltração, por sua vez, possuem um grau de atendimento satisfatório, já que a sua cobertura é normalmente constituída por um material granular, no entanto, são frequentemente implantadas conjuntamente com as faixas relvadas que lhe conferem um maior efeito de naturalização e auxiliam no processo de tratamento.

4.3.4. Parâmetros sociais

A última classe de parâmetros analisada relaciona-se com os efeitos positivos que estas técnicas acarretam para a população local e para a sociedade em geral. Assim, as técnicas mais proveitosas do ponto de vista social e com os maiores graus de atendimento são as bacias de retenção, seguidas das coberturas verdes e bacias de infiltração.

No que concerne ao efeito paisagístico, foi atribuído um grau de atendimento excelente tanto às coberturas verdes como às bacias de retenção. As coberturas verdes apresentam um efeito paisagístico muito agradável, especialmente as de regime intensivo por se assemelharem a jardins com diferentes tipos de vegetação, inclusive árvores de médio porte. As bacias de retenção por sua vez são estruturas de grande porte, que permitem a inserção de um espelho de água num ambiente urbano, traduzindo-se num efeito visual atraente e capaz de amenizar a sensação provocada pelas elevadas temperaturas. As bacias de infiltração possuem um grau de atendimento menor que as anteriores técnicas, pelo facto de nas épocas em que funcionam a seco constituírem uma grande área com uma superfície com efeito paisagístico menos agradável.

Em termos de requalificação urbana, as três técnicas possuem um grau de atendimento excelente por serem estruturas de grande dimensão e que podem transformar áreas já

construídas quando se tratam de coberturas verdes, ou áreas sem qualquer finalidade em áreas úteis.

Por fim, no que diz respeito ao campo “Compatibilização com outros usos”, o grau de atendimento concedido às bacias de retenção e de infiltração foi excelente. As bacias de retenção constituem um lago artificial que permite usos recreativos, como pesca ou canoagem, enquanto as bacias de infiltração quando secas permitem o uso como recinto desportivo. São de frisar também as coberturas verdes, que obtiveram um grau de atendimento satisfatório, pois apenas as coberturas intensivas permitem a utilização desta área como zona verde de passeio e lazer.

5. APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO

Ao longo dos capítulos anteriores foram enunciadas e descritas as vantagens que as técnicas de aproveitamento de água da chuva podem trazer para o ambiente e para a sociedade. Porém, os benefícios de cada uma das técnicas podem sofrer variações quando estas são aplicadas num contexto real. Alterações das condições atmosféricas, como fenómenos extremos de precipitação ou longos períodos de estio, entraves relacionados com o local de implantação, de que são exemplos as características do solo ou as restrições impostas pelo Plano Diretor Municipal, ou até mesmo a oposição da população local perante a construção de obras de maior envergadura das quais desconhece os benefícios, são algumas das contrariedades que podem surgir quando estas técnicas são aplicadas em comunidades urbanas.

Assim, não só é importante aferir as técnicas mais proveitosas do ponto de vista do seu funcionamento e a que nível pode trazer mais vantagens (técnico, ambiental, económico ou social), como também é de extrema importância que o projetista seja capaz de adequar a técnica a implantar tendo em conta a globalidade das características do local de implantação e toda a sua envolvência.

Neste capítulo apresenta-se um caso de estudo para implantação de técnicas de aproveitamento de água da chuva numa localização real, sendo analisados quatro cenários distintos, em que cada um deles está estreitamente relacionado com cada uma das quatro classes de comparação utilizadas no capítulo anterior. Esta atribuição de um cenário a cada uma das classes de parâmetros permite aplicar técnicas diferentes em cada cenário, sendo estas as mais vantajosas, de acordo com a análise comparativa já realizada, implementando-as num contexto real. Desta forma, será possível avaliar os ganhos que podem advir da implantação de cada uma delas e fazer uma comparação de benefícios entre os diversos cenários. Por outro lado, esta aplicação prática pretende também por si só demonstrar a aplicabilidade da matriz de comparação num contexto real.

5.1. Descrição do caso de estudo

Previamente à definição de cada um dos cenários e respetiva opção de técnica a implementar, é essencial selecionar um caso de estudo para que seja possível encontrar a melhor solução de acordo com as características do local de implantação. Desta forma, optou-se por utilizar uma localização real que servirá de base aos quatro cenários impostos. Assim, será possível uma melhor percepção das diferenças entre cada uma das técnicas quando aplicadas no mesmo contexto.

O local selecionado trata-se de uma zona maioritariamente residencial, dotada também de uma superfície comercial e com uma densidade de construção média, na qual existem áreas impermeáveis como também áreas permeáveis que facilitam a implantação de técnicas de aproveitamento de água da chuva, no contexto da presente dissertação. A área em estudo, delimitada a vermelho, localiza-se na União de Freguesias de Real, Dume e Semelhe, pertencente ao concelho de Braga e possui uma área em planta de aproximadamente 9,3 hectares (Figura 33).



Figura 33 - Delimitação da área de estudo, Fonte: Google Earth

A delimitação desta área foi efetuada simplesmente com base na rede viária da freguesia, assumindo que a água da chuva precipitada exteriormente a esta área não seria drenada para o

interior da mesma. Assumiu-se assim que esta simplificação é aceitável, pois o objetivo é comparar entre si diferentes cenários e demonstrar a aplicabilidade da matriz de comparação desenvolvida no âmbito da presente dissertação. Numa situação real de aplicação e projeto, e tendo em conta a declividade do terreno mais elevado a Norte e a Oeste, a influência de possíveis afluências de volumes de água precipitados nesse quadrante deveria ser considerada.

5.2. Definição dos cenários

Tendo em conta a categorização já realizada dos parâmetros de análise, serão definidos quatro cenários, sendo que, em que cada um deles será dada primazia a uma classe de parâmetros distinta.

5.2.1. Cenário 1: maior benefício técnico

No primeiro cenário, será atribuído um maior peso aos parâmetros técnicos, ou seja, pretende-se aplicar uma técnica mais vantajosa a nível técnico e aferir os seus benefícios. Em conformidade com a análise comparativa efetuada no capítulo anterior, as técnicas mais proveitosas a este nível e passíveis de serem usadas neste caso de estudo são as bacias de infiltração, seguidamente das bacias de retenção, trincheiras de infiltração e faixas relvadas.

Tendo em conta o local de implantação, serão implementadas trincheiras de infiltração em diferentes locais da área de estudo, permitindo que a água pluvial seja infiltrada através destas estruturas.

5.2.2. Cenário 2: maior benefício económico

O segundo cenário será analisado do ponto de vista económico, ou seja, pretende-se implantar a técnica economicamente mais viável. As técnicas de aproveitamento de água da chuva mais benéficas nesta classe de parâmetros foram, de acordo com a matriz de comparação, os poços de infiltração e as faixas relvadas.

Assim, neste caso, a técnica selecionada para implantação na área de estudo será as faixas relvadas. A extensão e localização das faixas relvadas, que serão definidas mais adiante, estão condicionadas pela ocupação e declividade do terreno.

5.2.3. Cenário 3: maior benefício ambiental

No terceiro cenário, pretende-se atribuir um maior peso aos benefícios ambientais, e desta forma, aplicar a técnica que traga um maior ganho para o ambiente, mesmo que seja menos vantajosa em termos técnicos, económicos e sociais. De entre as técnicas mais indicadas para aplicação neste caso de estudo, salientam-se os sistemas de biorretenção, coberturas verdes e trincheiras de infiltração.

Deste modo, serão projetadas coberturas verdes para todos os edifícios inseridos na área de estudo, embora numa situação real a utilização de coberturas verdes na totalidade dos edifícios poderia não ser exequível ou adequada. No entanto, na presente dissertação esta opção foi tomada no sentido de maximizar o benefício ambiental associado a esta técnica. Por forma a assegurar uma maior eficácia desta técnica, conjuntamente com as coberturas verdes, serão dimensionados reservatórios que permitirão que a água recolhida na cobertura seja armazenada e utilizada posteriormente para usos domésticos que não requerem água potável.

5.2.4. Cenário 4: maior benefício social

Por fim, no quarto e último cenário, os parâmetros com uma maior preponderância são os sociais, sendo portanto necessário aplicar uma técnica que melhor corresponda a este nível, trazendo um maior número de benefícios urbanísticos e de integração com a população local. Desta forma, os instrumentos de aproveitamento de água da chuva que obtiveram uma melhor resposta a esta classe de parâmetros foram as bacias de infiltração, coberturas verdes e bacias de retenção.

Analisando o local de implantação e a área disponível, existe a possibilidade de implementação de uma técnica de maior envergadura como é o caso de uma bacia de infiltração.

5.3. Metodologia de aplicação

Previamente à definição da metodologia de dimensionamento para cada uma das técnicas selecionadas, é fulcral a determinação de um parâmetro que servirá de base a todos os cálculos que se seguem – a intensidade de precipitação.

Tendo em conta a localização do caso de estudo, recorrendo ao *site* do Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), é possível obter dados de precipitação fornecidos por uma estação de monitorização. Sendo assim, selecionou-se a estação de monitorização de Barcelos (04F/01C) por ser a estação com dados mais recentes e melhor localizada face à área de estudo.

Segundo recomendação da ANQIP, a determinação da precipitação de cálculo, para estruturas de aproveitamento de água da chuva, deve ser feita recorrendo a séries históricas de precipitação correspondentes a períodos não inferiores a 10 anos e para um período de retorno⁵ mínimo de 5 anos. Porém, sendo esta uma aplicação simplificada na qual se pretende apenas aferir uma estimativa dos volumes de água gerido, será unicamente analisada a série de dados de precipitação correspondente ao último ano hidrológico registado, de 01-10-2015 a 30-09-2016 e que possui 294 registos (Figura 34).



Figura 34 - Dados de precipitação da estação de Barcelos (04F/01C) para o ano hidrológico 2015/2016, Fonte: SNIRH

⁵ Número de anos que separam um evento de dimensão conhecida de outro evento com dimensão igual ou superior (SNIRH).

No dimensionamento das diversas técnicas, é necessária a determinação da intensidade de precipitação (I) através da seguinte fórmula:

$$I = P/t_c \quad (1)$$

Em que:

- I : Intensidade de precipitação (mm/h);
- P : Precipitação média (mm);
- t_c : tempo de concentração (h).

A precipitação média mensal, corresponde à média das doze precipitações médias mensais registadas ao longo do ano hidrológico 2015/2016 e toma o valor de 128,4mm. Adotando um tempo de concentração de 10 minutos, a intensidade de precipitação mensal é de 770,40mm/h.

Nos casos em que a intensidade de precipitação a utilizar para o dimensionamento corresponde à precipitação média diária, é necessário determinar este valor médio com base nos registos do SNIRH. Para a série de dados utilizada a precipitação média diária toma o valor de 2,9mm, correspondendo a uma intensidade de precipitação de 17,06mm/h para um tempo de concentração de 10 minutos.

5.3.1. Cenário 1

O processo de aplicação de trincheiras de infiltração na área em estudo segue a metodologia de dimensionamento que compreende várias etapas, e que se descrevem a seguir.

5.3.1.1. Etapa 1: Considerações de projeto

De acordo com o *Idaho Department of Environment Quality* (2005), a área de contribuição para cada trincheira de infiltração não deverá ser superior a 4 hectares. A delimitação das áreas de contribuição é uma tarefa complexa, pois deve ser realizada com base na declividade do terreno e conseqüentemente no sentido do escoamento da água pluvial. Neste caso, por se tratar de uma implantação hipotética, foram delimitadas, de forma simplificada, três áreas de contribuição distintas (Figura 35), sendo que em cada uma delas será implantada

uma trincheira de infiltração. Esta delimitação foi realizada em função da declividade do terreno, já que este é mais elevado a Este e mais baixo a Oeste.



Figura 35 - Delimitação das áreas de contribuição de cada trincheira de infiltração

Fonte: Google Earth

Segundo Tomaz, 2016, para que seja garantido um correto funcionamento da trincheira, assim como a sua segurança, é necessário o cumprimento de algumas condições essenciais:

- A percolação mínima do solo adjacente à trincheira deve ser maior que 15mm/h e menor que 60mm/h;
- A base da trincheira deve encontrar-se a profundidade mínima de 1,20m da rocha ou lençol freático;
- A trincheira de infiltração só pode ser construída em terrenos estabilizados e a uma distância mínima de 6,00m de uma construção;
- As pedras britadas a utilizar no preenchimento da trincheira devem ter um diâmetro entre os 38mm e os 75mm.

Para a aplicação neste caso de estudo, considerou-se que as condições supracitadas estão asseguradas.

5.3.1.2. Etapa 2: Metodologia de dimensionamento

As trincheiras de infiltração devem assegurar não só a melhoria da qualidade da água a ser infiltrada, como também garantir que o volume de armazenamento temporário é capaz de possuir um impacto significativo na atenuação dos picos de cheia.

Em primeiro lugar determinou-se a profundidade máxima admissível das trincheiras de infiltração, através da seguinte equação (Tomaz, 2016):

$$d_{m\acute{a}x} = f \times T_s / n \quad (2)$$

Em que:

- $d_{m\acute{a}x}$: profundidade máxima admissível (mm). Recomenda-se que a profundidade máxima se encontre no seguinte intervalo: $0,90m \leq d_{m\acute{a}x} \leq 2,40m$;
- f : taxa de infiltração (mm/h), sendo que se deve adotar um valor maior que 7,6mm/h e menor que 60mm/h;
- T_s : tempo de armazenamento máximo permitido (h), deve adotar-se um tempo de armazenamento superior a 24h e inferior a 48h;
- n : coeficiente de porosidade do enchimento que compõe a trincheira de infiltração.

Para este cálculo, a taxa de infiltração adotada foi de 20mm/h, o tempo de armazenamento de 48h e a porosidade do enchimento de 0,4.

O caudal superficial foi calculado com base no Método Racional através da seguinte equação:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} \quad (3)$$

Em que:

- Q : caudal superficial da área de contribuição (m^3/s);
- C : coeficiente de escoamento. Neste caso adotou-se um valor de 0,5 para este parâmetro, já que a área de estudo se caracteriza por apresentar edificações com ruas pavimentadas mas com muitas áreas verdes;

- I: intensidade de precipitação mensal (mm/h);
- A: área de contribuição para a trincheira (ha).

A determinação dos valores dos caudais superficiais de cada área de contribuição, permitiu o cálculo do volume de água pluvial que entra em cada trincheira, que de acordo com Tomaz, 2016, é dado por:

$$V_w = Q \times t_c \quad (4)$$

Em que:

- V_w : volume de água pluvial que entra na trincheira (m^3);
- Q: caudal superficial da área de contribuição (m^3/s);
- t_c : tempo de concentração (s). O tempo de concentração selecionado foi de 10min.

Segundo o mesmo autor, a área superficial das trincheiras foi determinada com base na seguinte fórmula:

$$A_t = \frac{V_w}{n \times d_t + f \times T} \quad (5)$$

Em que:

- A_t : área superficial de implantação da trincheira (m^2);
- V_w : volume de água pluvial que entra na trincheira (m^3);
- n: coeficiente de porosidade ($n=0,4$);
- d_t : profundidade adotada para a trincheira (m);
- f: taxa de infiltração (mm/h);
- T: tempo de enchimento da trincheira (h). O valor admitido foi de 2h.

Fixando o valor da largura da trincheira de infiltração, que neste caso foi de 1,5m para as três trincheiras a implantar, através do valor da área superficial da trincheira retira-se o comprimento que cada uma delas deverá possuir.

O volume da trincheira de infiltração (V_t) está dependente das dimensões anteriormente calculadas, assim como, da porosidade do material de enchimento (n). Assim, o volume da trincheira foi determinado com base no seguinte cálculo:

$$V_t = d_t \times A_t \times n \quad (6)$$

Por fim, calculou-se a capacidade de armazenamento da trincheira (V , em m^3) com base no volume da trincheira (V_t) e a porosidade (n) através da seguinte fórmula (Tomaz, 2016):

$$V = V_t \times n \quad (7)$$

Os cálculos com todos os parâmetros de dimensionamento para as três trincheiras encontram-se no Anexo II.

5.3.1.3. Etapa 3: Aplicação e aferição do benefício

De acordo com o dimensionamento executado será então aplicada uma trincheira de infiltração por cada uma das áreas de contribuição (Figura 36).



Figura 36 - Localização das trincheiras de infiltração, Fonte: Google Earth

Para assegurar a capacidade de retenção determinada, o preenchimento das trincheiras é realizado com brita e um filtro geotêxtil capaz de reter os sedimentos de menor dimensão. Dado que as trincheiras estão localizadas numa área verde, a cobertura das mesmas pode ser realizada com material granular.

O benefício em termos de volume de água que as trincheiras permitem infiltrar e que não é conduzido para o sistema de drenagem, pode ser determinado com base no volume de armazenamento calculado. Em conjunto, as três trincheiras possuem uma capacidade de armazenamento de aproximadamente 60 m^3 para um tempo de retenção de 48h (2 dias), o que se traduz numa capacidade máxima de infiltração de 30 m^3 diários. Este volume corresponderia a um volume teórico máximo de $10\,950 \text{ m}^3$ anuais, se a pluviosidade fosse contínua, o que neste caso poderia culminar na saturação do solo reduzindo assim a capacidade de infiltração da trincheira. Esta situação aponta para a necessidade de proceder a um estudo mais detalhado, caso se pretendesse o efetivo dimensionamento e projeto destas trincheiras, e não uma simples análise comparativa como acontece na presente dissertação.

5.3.2. Cenário 2

O processo de aplicação de faixas relvadas na área em estudo segue a metodologia de dimensionamento que compreende várias etapas, e que se descrevem a seguir.

5.3.2.1. Etapa 1: Considerações de projeto

As faixas relvadas são técnicas simples em termos construtivos, no entanto, existem alguns pressupostos que deverão ser cumpridos no seu projeto (Tomaz, 2010a):

- As faixas relvadas são projetadas para receber o escoamento superficial proveniente de áreas impermeáveis, sendo portanto a sua aplicação mais usual paralelamente a estradas, passeios e estacionamento;
- A área de contribuição de uma faixa relvada não poderá ser superior a 2 hectares e com uma declividade inferior a 5%;
- O lençol freático deverá estar localizado a uma profundidade mínima de 0,50m em relação à faixa relvada.

5.3.2.2. Etapa 2: Metodologia de dimensionamento

O dimensionamento de faixas relvadas pode seguir três metodologias diferentes, consoante se trata de uma faixa relvada sem berma, faixa relvada com berma para nivelar a água afluyente à faixa ou de uma faixa relvada instalada a montante de outra técnica com função de pré-tratamento. Neste caso, por simplificação, adotar-se-á um critério geral que permitirá obter as dimensões necessárias para as faixas relvadas.

Em primeiro lugar e em conformidade com as considerações de projeto definidas no ponto anterior, é necessário definir os locais de implantação das faixas relvadas e respectivas áreas de contribuição. Uma vez que a área de estudo possui um grande número de áreas permeáveis e que a maioria das áreas impermeáveis correspondem aos edifícios residenciais, optou-se por definir então duas áreas de contribuição, sendo uma delas o parque de estacionamento da superfície comercial e a outra um troço da via pública, conforme a Figura 37.



Figura 37 - Áreas de contribuição para as faixas relvadas, Fonte: Google Earth

No que respeita ao dimensionamento, primeiramente, é necessário determinar o caudal afluyente por metro linear de faixa podendo este ser determinado de acordo com a seguinte equação:

$$q = \left(\frac{y^{1,67} \times S^{0,5}}{n} \right) \times 3600 \quad (8)$$

Em que:

- q: caudal afluyente à faixa relvada por metro linear ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$);
- y: altura da lâmina de água (m). Geralmente $2,5\text{cm} \leq y \leq 7,5\text{cm}$;
- S: declividade da faixa relvada (m/m). Geralmente $2\% \leq S \leq 6\%$;
- N: coeficiente de rugosidade de Manning. Para relva média: $n=0,15$.

O comprimento mínimo da faixa relvada deverá ser superior a 4,5m e é determinado da seguinte forma:

$$W_{min} = \frac{Q}{q} \quad (9)$$

$$\text{com } Q = C \times I \times A \quad (10)$$

Em que:

- W_{min} : comprimento mínimo da faixa relvada perpendicularmente ao escoamento (m). Sendo que $W_{min} \geq 4,5\text{m}$;
- q: caudal afluyente à faixa relvada por metro linear ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$);
- Q: caudal superficial total da área de contribuição (m^3/h);
- C: coeficiente de escoamento;
- I: intensidade de precipitação (m/h);
- A: área de contribuição para cada faixa relvada (m^2).

De acordo com a metodologia definida anteriormente, é necessário fixar alguns dos parâmetros de cálculo:

- Altura da lâmina de água (y) = 0,025m;
- Coeficiente de rugosidade de Manning (n) = 0,15;
- Declividade da faixa relvada (S) = 0,02m/m;
- Coeficiente de escoamento (C) = 0,85 (asfalto);

No dimensionamento das faixas relvadas é utilizada a intensidade de precipitação diária que está dependente do valor de precipitação média diária e do tempo de concentração. Analisando os 294 valores de precipitação registados no último ano hidrológico (2015/2016) para a estação de monitorização de Barcelos (04F/01C), a precipitação média diária é de 2,9mm.

Considerando um tempo de concentração de 10min o valor da intensidade de precipitação diária é então de 0,017m/h.

Assim, determinou-se o comprimento mínimo para cada faixa relvada (Tabela 5).

Tabela 5 - Comprimento mínimo (W_{\min}) das faixas relvadas

Faixa relvada	Área de contribuição (A)	Caudal afluente à faixa relvada (q)	Caudal superficial total (Q)	Comprimento mínimo (W_{\min})
	(m ²)	(m ³ /h/m)	(m ³ /h)	(m)
1	1851	7,17	26,84	3,75
2	2218	7,17	32,16	4,49

5.3.2.3. Etapa 3: Aplicação

Em consequência da ocupação do solo nas áreas definidas para implantação das faixas relvadas, a disponibilidade de terreno para as faixas relvadas é muito diminuta. Desta forma, optou-se por uma largura de 1,0m para ambas as faixas relvadas, sendo que cada uma delas apresenta um comprimento de 4,5m, o que corresponde ao comprimento mínimo (Figura 38).

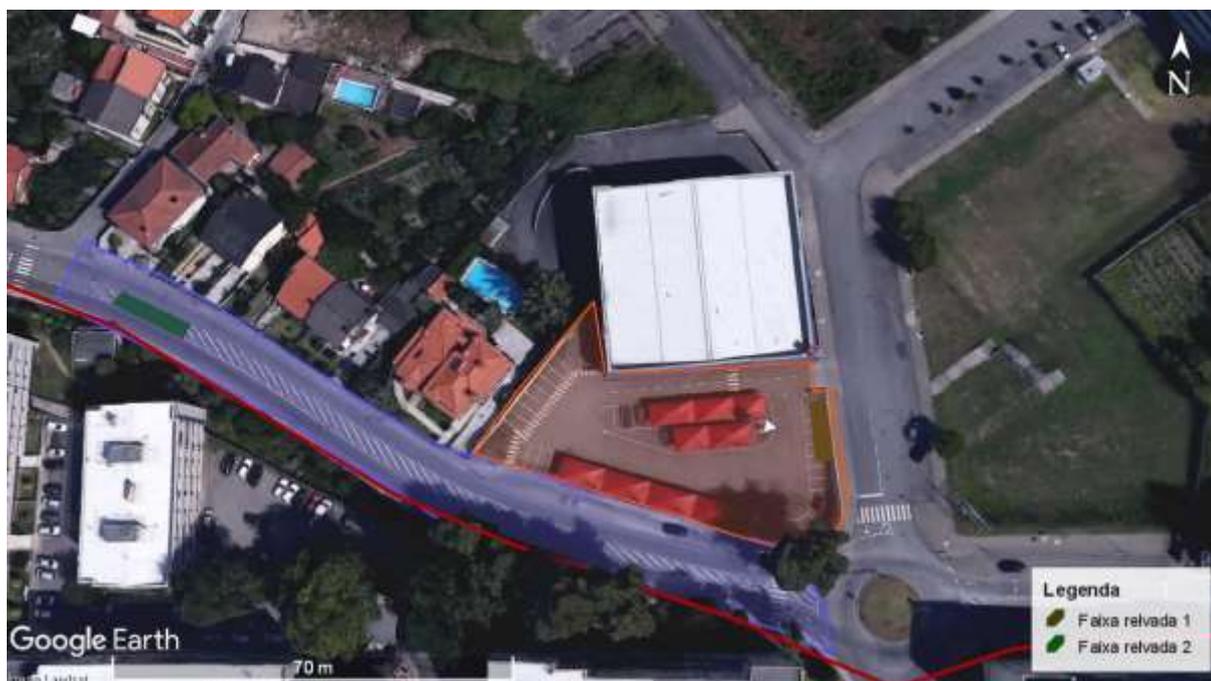


Figura 38 - Aplicação das faixas relvadas na área de estudo, Fonte: Google Earth

Na aplicação das faixas relvadas assume-se que, para ambos os casos, o escoamento é perpendicular à dimensão longitudinal da faixa relvada, bem como, que a superfície impermeável existente será retirada para substituição por solo local com uma cobertura relvada de modo a promover a infiltração.

O local de implantação da faixa relvada 1 prende-se com a declividade existente no parque de estacionamento que permite que a água seja escoada no sentido da faixa, no entanto, na situação real, a localização desta faixa retira alguns lugares de estacionamento. Esta situação alerta para a possível dificuldade de implantação de uma faixa relvada num terreno privado. Por sua vez, a faixa relvada 2 foi aplicada nas raias oblíquas da via pública que separam as duas vias de trânsito. Caso se optasse pela implantação numa das bermas, esta estaria condicionada pelas entradas das habitações destinadas a veículos. Esta situação alerta para a possível dificuldade na implantação de uma faixa relvada na via pública.

5.3.3. Cenário 3

O processo de aplicação de coberturas verdes na área em estudo, em conjugação com microrreservatórios para armazenamento da água recolhida destinada a consumos domésticos, segue a metodologia de dimensionamento que compreende várias etapas, e que se descrevem a seguir.

5.3.3.1. Etapa 1: Considerações de projeto

No que respeita à aplicação das coberturas verdes existem alguns pressupostos a ser definidos tais como:

- Assume-se que as coberturas de todas as edificações possuem um reforço estrutural capaz de suportar o peso decorrente da aplicação de uma cobertura verde na laje de cobertura;
- Em concordância com a tipologia das edificações existentes na área de estudo, optou-se pela aplicação de coberturas verdes do tipo extensivo, por requererem uma menor manutenção;
- A cobertura verde terá a inclinação mínima aconselhada de 2°, no entanto no dimensionamento, por simplificação, considerar-se-á a projeção horizontal da cobertura;

- A água recolhida que não é absorvida, pelo substrato e vegetação, é conduzida através de caldeiras e tubos de queda para o microrreservatório para posterior uso em fins não potáveis.

Quanto aos microrreservatórios, estes serão enterrados e localizados o mais próximo possível dos edifícios a que pertencem, por forma a evitar custos elevados com o sistema de tubagens. Estas estruturas estarão dotadas de um descarregador de superfície, permitindo que nas situações em que a capacidade do reservatório não é suficiente para armazenar toda a água recolhida, esta possa ser encaminhada para a rede pública de drenagem. Devido à capacidade de tratamento assegurada pela cobertura verde, nomeadamente ao nível da filtração, considera-se que não será necessário a instalação de um dispositivo de *first-flush*.

5.3.3.2. Etapa 2: Metodologia de dimensionamento

As coberturas verdes são normalmente aplicadas *in-situ* por empresas creditadas para o efeito, estando por isso as características das mesmas dependentes do fabricante e do tipo de sistema adotado. Desta forma, adotou-se o sistema de cobertura verde comercializado pela empresa Zinco® com uma camada de substrato de 100mm (Figura 39).

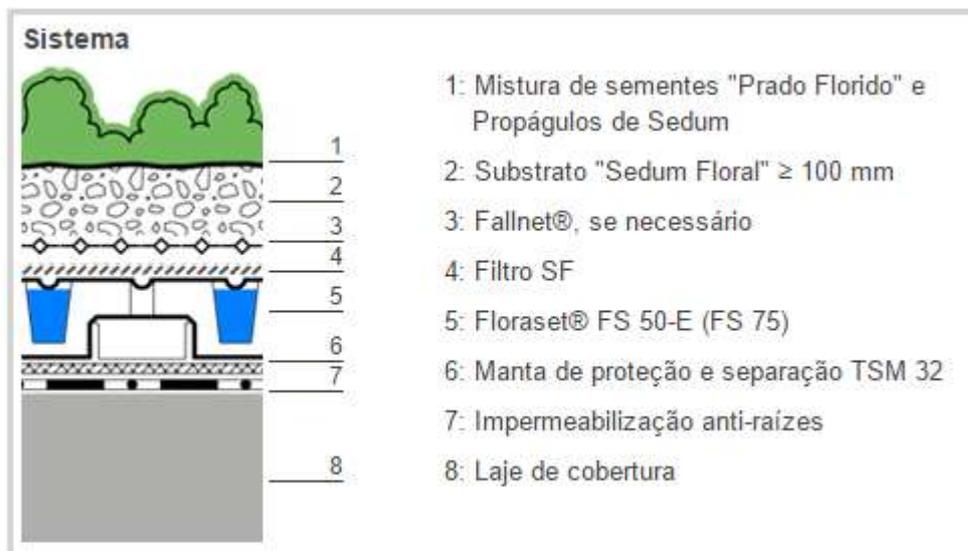


Figura 39 - Sistema de cobertura adotado, Fonte: Zinco®

Para a realização do dimensionamento, o primeiro passo passa pela determinação da área de captação de cada cobertura para todos os edifícios pertencentes à área de estudo (Figura 40).



Figura 40 - Delimitação das áreas das coberturas na zona de estudo, Fonte: Google Earth

De acordo com Especificação Técnica ANQIP 0701, o volume de água aproveitável por uma cobertura foi calculado com base na seguinte equação:

$$V_a = C \times P \times A \times \eta_f \quad (11)$$

Em que:

- V_a : volume anual de água da chuva aproveitável (m^3);
- C : coeficiente de escoamento (relação entre o volume captado e o volume total de precipitação num determinado período de tempo, tendo em atenção as retenções, absorções e desvios das primeiras águas, caso existam);
- P : altura de precipitação acumulada anual (m);
- A : área de captação (m^2);
- η_f : eficiência hidráulica da filtragem.

A mesma especificação recomenda que o valor do coeficiente de escoamento (C) a adoptar para coberturas verdes extensivas sem sistema de rega e com uma espessura de substrato inferior a 150mm, seja de 0,5 quando o dimensionamento for realizado com base na

pluviosidade média anual. Quando o sistema de filtragem está sujeito a uma manutenção e limpeza regulares, pode ser admitida uma eficiência hidráulica (η_f) de 0,9.

Para além dos valores mencionados anteriormente, em termos de pluviosidade, o valor utilizado no cálculo do volume de água aproveitável foi o da precipitação média acumulada ao longo do último ano hidrológico registado no período de 01-10-2015 a 30-09-2016, sendo o valor de 1543mm, conforme os registos do SNIRH mencionados anteriormente.

No que respeita ao dimensionamento dos reservatórios, existem inúmeros métodos de cálculo, nos quais a utilização de diferentes parâmetros (número de habitantes, consumos *per capita*, número máximo de dias de retenção da água no reservatório, etc.) gera diferentes volumes do reservatório.

Seguindo os métodos de dimensionamento estipulados pela Especificação Técnica ANQIP 0701, o volume total do reservatório (V_t) deve ser, no mínimo, superior em 20% ao volume útil (V_u), para ter em atenção o volume morto e a profundidade da boca de captação.

O volume útil (V_u) do reservatório foi determinado através do seguinte método de cálculo:

$$V_u = \text{Min} \{V_1 \text{ ou } V_2\} \quad (12)$$

$$\text{com } V_1 = 0,0015 \times P \times A \times N \quad (13)$$

$$\text{e } V_2 = 0,003 \times U \times C_{AE} \times N \quad (14)$$

Em que:

- V_u : volume útil do reservatório (m^3);
- V_1 : volume de água aproveitável (m^3);
- P: precipitação média anual no local da instalação (m);
- A: área de captação (m^2);
- N: número máximo de dias de retenção da água no reservatório (20 a 30 dias);
- V_2 : volume de água consumido (m^3);
- U: número de moradores ou utentes do edifício;
- C_{AE} : consumo anual estimado (m^3),

Face ao desconhecimento acerca do volume de água consumido (número de moradores e consumo anual estimado), o dimensionamento do reservatório foi realizado apenas com base no volume de água aproveitável considerando um número máximo de dias de retenção da água no reservatório de 30 dias. Assim, o volume total do reservatório (V_t), em metros cúbicos, calculou-se com base nas seguintes equações:

$$V_t = 1,20 \times V_u \quad (15)$$

$$\text{com } V_u = 0,0015 \times P \times A \times 30 \quad (16)$$

Os cálculos respectivos às coberturas verdes dimensionadas e respectivos reservatórios encontram-se no Anexo III.

5.3.3.3. Etapa 3: Aplicação e aferição do benefício

A aplicação dos microrreservatórios pressupõe a existência de uma área suficiente para a implantação de microrreservatórios de forma subterrânea e o mais próximo possível do local de captação (cobertura) e dos locais de consumo. A água captada é destinada a usos que não exigem água potável, tais como rega, lavagem de passeios, descarga de autoclismos. No caso dos edifícios que possuem piscina e uma cobertura de dimensões significativas com um grande volume de água aproveitável, a água recolhida e armazenada pode ser também utilizada para o enchimento de piscina após aplicação de um tratamento adequado.

Quando aplicadas conjuntamente, as coberturas verdes aliadas a sistemas de aproveitamento de água pluvial com reservatório, amplificam as suas vantagens já que os pontos menos favoráveis de cada técnica podem ser compensados pelos benefícios da outra. Neste cenário, a implantação das coberturas verdes com microrreservatórios permitiu aferir que, para a área de estudo, quando todos os edifícios são dotados com este sistema, o volume de água de chuva aproveitável é de 9080 m³ anuais. Assim, se todo o volume de água aproveitável for armazenado e empregue em fins não potáveis, ao invés de ser utilizada água potável fornecida através do abastecimento público, pode culminar numa poupança significativa deste bem tão essencial e na sua conservação para as gerações futuras. Esta condição está dependente do número de habitantes de cada edifício e respectivos consumos, no entanto, devido ao grande número de edifícios em que foram aplicadas estas estruturas, a discrepância na tipologia dos

edifícios e a extensão da estimativa de todos os consumos, optou-se por não realizar um estudo mais aprofundado do volume de água consumido.

5.3.4. Cenário 4

O processo de aplicação de uma bacia de infiltração na área em estudo segue a metodologia de dimensionamento que compreende várias etapas, e que se descrevem a seguir.

5.3.4.1. Etapa 1: Considerações de projeto

De acordo com Winkler citado por Tomaz, 2010b, o correto funcionamento de uma bacia de infiltração está diretamente relacionado com vários pressupostos que devem ser assegurados num projeto de implantação de uma estrutura desta envergadura, tais como:

- Para que a construção de uma bacia de infiltração seja viável, a área de impermeabilização da área de contribuição deverá ser maior ou igual a 15%;
- A profundidade da bacia deve encontrar-se entre os 0,30m e os 1,80m, sendo que no dimensionamento deve privilegiar-se uma maior área em planta e uma menor profundidade;
- O tempo de infiltração mínimo é de 48h, não devendo ultrapassar as 72h;
- A taxa de infiltração do solo deverá ser superior a 13 mm/h e inferior a 60 mm/h;
- A área em planta da bacia de infiltração deve encontrar-se entre os 2 ha e os 6 ha;
- Os taludes laterais devem respeitar uma relação 3:1 (H:V);
- A distância mínima entre o lençol freático e a base da bacia é 0,90 m;

5.3.4.2. Etapa 2: Metodologia de dimensionamento

No dimensionamento, será considerada que a área de contribuição será unicamente a relativa à área de estudo, cujo valor é de 9,3 hectares, não existindo contribuição as áreas envolventes, o que numa situação de projeto real seria inconcebível.

De acordo com *Regional Water Resource Agency*, a bacia de infiltração deverá ser projetada por uma taxa de infiltração de projeto (F_d) correspondente a metade da taxa de infiltração do solo (f). Assim, adotando como valor para taxa de infiltração do solo 20 mm/h, tal como utilizado no dimensionamento das trincheiras de infiltração, a taxa de infiltração de projeto é dada por:

$$F_d = 0,5 \times f \quad (17)$$

$$\leftrightarrow F_d = 0,5 \times 20 = 10 \text{ mm/h}$$

A profundidade máxima da bacia pode ser calculada em função da taxa de infiltração de projeto (F_d) e o tempo máximo de infiltração ($T_{m\acute{a}x}$), de acordo com a seguinte equação:

$$D_{m\acute{a}x} = F_d \times T_{m\acute{a}x} \quad (18)$$

Em que:

- $D_{m\acute{a}x}$: profundidade máxima admitida para a bacia de infiltração (m);
- F_d : taxa de infiltração de projeto (m/h);
- $T_{m\acute{a}x}$: tempo máximo de infiltração (h).

Admitindo um tempo máximo de infiltração de 48h, é possível determinar a profundidade máxima da bacia ($D_{m\acute{a}x}$):

$$D_{m\acute{a}x} = 0,01 \text{ m/h} \times 48 \text{ h} = 0,48 \text{ m} \quad (19)$$

A área superficial mínima para a base da bacia (A_{min}) está dependente do volume requerido para a melhoria das águas pluviais (WQ_v), sendo calculada da seguinte forma:

$$A_{min} = \frac{WQ_v}{F_d \times T_{m\acute{a}x}} \quad (20)$$

Em que:

- A_{min} : área superficial mínima para a base da bacia (m²);
- WQ_v : volume requerido para a melhoria das águas pluviais (m³);
- F_d : taxa de infiltração de projeto (m/h);
- $T_{m\acute{a}x}$: tempo máximo de infiltração (h).

De acordo com Tomaz, 2010b, neste contexto, o caudal de cheia de uma bacia pode ser dividido em dois caudais distintos: o caudal representativo do volume para a melhoria das águas pluviais (WQ_v) e aquele que é encaminhado para a rede de drenagem ou curso de água mais próximo. Para este efeito, a montante da bacia de infiltração, é necessária a instalação de um

dispositivo regulador de fluxo, constituído por um descarregador que permite encaminhar o volume WQ_v para o canal de entrada da bacia de infiltração ou para a faixa relvada localizada na periferia desta.

Em termos de dimensionamento, o volume para a melhoria das águas pluviais representa o volume de tratamento necessário para remover uma parte significativa da carga poluente existente no escoamento superficial das águas pluviais. Pode ser determinado com base na seguinte equação:

$$WQ_v = \frac{P}{1000} \times R_v \times A \quad (21)$$

$$\text{com } R_v = 0,05 + 0,009 \times AI \quad (22)$$

Em que:

- WQ_v : volume para melhoria da qualidade das águas pluviais (m^3);
- R_v : coeficiente volumétrico, em função da área impermeável da área de contribuição;
- AI : área impermeável da área de contribuição (%);
- A : área de contribuição (m^2);
- P : precipitação adotada (mm).

O valor da precipitação (P) equivale à altura correspondente ao volume de *first-flush*, sendo determinado para 90% das precipitações que produzem escoamento e permitindo uma redução de 80% dos sólidos suspensos totais (SST) para além da remoção de outros poluentes.

De acordo com a série de dados de precipitação diária, retirada do SNIRH, para a estação de monitorização de Barcelos (04F/01C) no intervalo de tempo de 01-10-2015 a 30-09-2016 foram registados 294 registos. Considerando que apenas se produz escoamento superficial para precipitações superiores a 2mm, só em 70 registos esse valor foi ultrapassado (Anexo IV). Assim sendo, o valor da precipitação a adotar corresponde a 90% da frequência das precipitações obtendo-se assim um valor de 26mm (Figura 41).

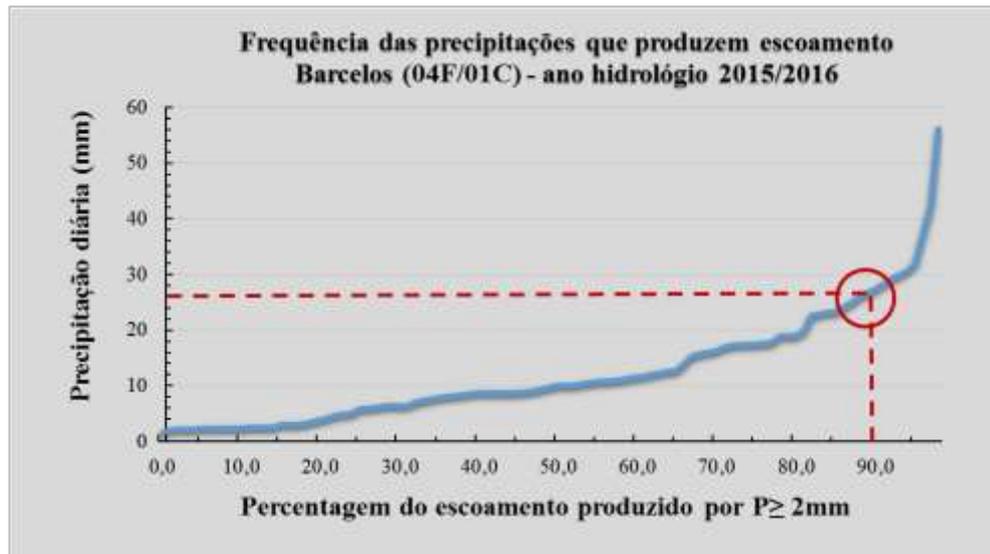


Figura 41 - Gráfico de frequência de precipitações que produzem escoamento no ano hidrológico 2015/2016 para a estação de monitorização de Barcelos (04F/01C)

Uma vez que a área impermeável representa cerca de 50% da área total de contribuição da bacia de infiltração, através da equação (22) obtém-se um coeficiente volumétrico (R_v) de 0,0545. Sendo a área de contribuição de aproximadamente 92 500 m² o volume para melhoria das águas pluviais (WQ_v), dado pela equação (21), é então de cerca de 131 m³. Desta forma, substituindo os parâmetros anteriores na equação (20) e adotando um tempo máximo de infiltração de 48h, é possível determinar a área mínima da bacia de infiltração sendo de 273 m².

Segundo Tomaz, 2010b, o comprimento e largura da base da bacia devem respeitar a razão 3:1. Deste modo, as dimensões da bacia de infiltração podem ser determinadas com base na seguinte equação:

$$A_{bacia} = C \times L \quad (23)$$

$$\leftrightarrow 273 = (3 \times L) \times L \leftrightarrow L = 9,54m$$

$$C = 3 \times L \quad (24)$$

$$C = 3 \times 9,54 \leftrightarrow C = 28,62m$$

Adotando uma bacia com a forma de um prisma trapezoidal, as dimensões do topo da bacia são de 12,42m de largura por 31,5m de comprimento (Figura 42).

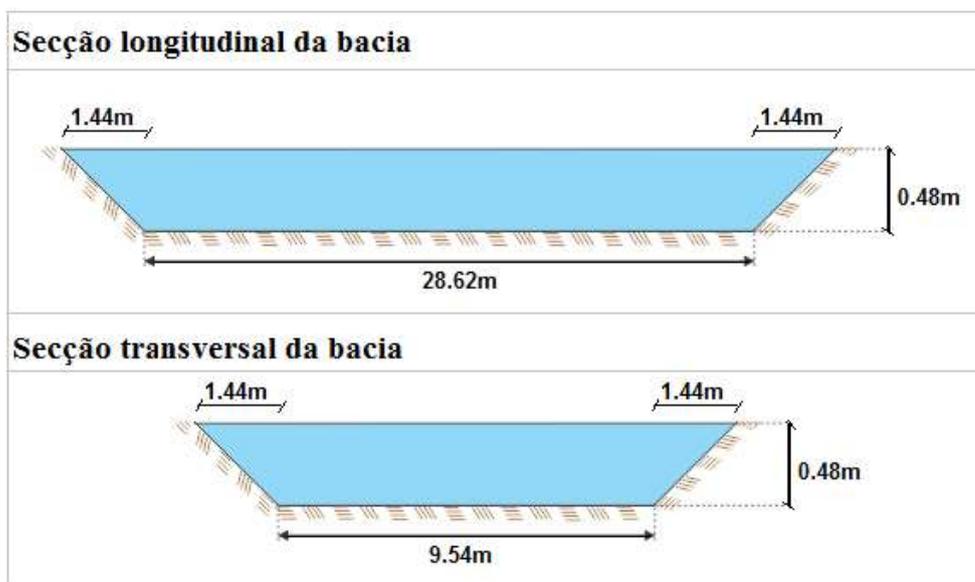


Figura 42 - Dimensões das secções longitudinal e transversal da bacia (sem escala)

5.3.4.3. Etapa 3: Aplicação e aferição do benefício

Para que a implantação da bacia de infiltração seja mais viável, optou-se por implantar num local com uma depressão natural já existente. Desta forma, apenas é necessário nivelar o terreno e aprofundar, caso necessário (Figura 43).



Figura 43 - Localização da bacia de infiltração na área de estudo, Fonte: Google Earth

Apesar de na realidade a localização da bacia de infiltração não permitir que todo o escoamento superficial da área de estudo seja encaminhado para a bacia de infiltração, face à declividade do terreno e sentido da rede de drenagem, neste caso simplificado assume-se que todo o escoamento da área de contribuição é conduzido através da rede de drenagem até ao canal de entrada da bacia. Por razões de segurança, é necessária a implantação de um descarregador de tempestade com ligação à rede de drenagem, por forma a prevenir a inundação das áreas envolventes.

Conforme os cálculos de dimensionamento realizados, a implementação desta estrutura permite a infiltração de um volume de 131 m^3 (WQ_v) ao longo de 48 horas, traduzindo-se numa capacidade infiltração de $65,5 \text{ m}^3/\text{dia}$. Deste modo, a bacia de infiltração permite que este volume não seja conduzido ao longo de todo o sistema de drenagem, revelando uma grande importância na atenuação dos picos de cheia.

5.4. Análise de resultados

A aplicação das técnicas de aproveitamento de água da chuva neste caso de estudo, permitiu aferir que uma quantidade significativa do escoamento superficial pode ser gerido por outras estruturas que não o convencional sistema de drenagem.

Analisando o cenário 1, com aplicação de trincheiras de infiltração, pode observar-se que três trincheiras são suficientes para garantir a infiltração do escoamento superficial de uma área inferior a 10 hectares permitindo, em conjunto, um armazenamento temporário que pode atingir os 30 m^3 diários, demonstrando assim a sua utilidade a nível técnico. A implantação destas estruturas no caso de estudo apenas foi exequível por se tratar de um local cuja disponibilidade de terreno permeável é significativa. Em zonas com uma maior taxa de impermeabilização, a aplicação de trincheiras de infiltração pode tornar-se inviável devido às condicionantes relacionadas com a ocupação do terreno.

Relativamente ao cenário 2, os obstáculos à implementação das faixas relvadas são acrescidos pelo facto de a aplicação desta técnica apenas ser possível em conjugação com áreas impermeáveis e numa orientação capaz de garantir que o escoamento se dá no sentido perpendicular à dimensão longitudinal da faixa relvada. Desta forma, apesar de se ter revelado uma técnica muito benéfica a nível económico, as faixas relvadas acarretam uma grande

dificuldade de aplicação *in-situ*, particularmente nas situações em que o projeto destas técnicas é realizado à *posteriori* e separadamente do projeto da área impermeabilizada de contribuição. Sendo assim, existe uma maior viabilidade destas técnicas quando a sua aplicação é realizada simultaneamente com a impermeabilização da área envolvente porém, mesmo que assim seja, a utilização do espaço pode ficar condicionada, como é o caso de um parque de estacionamento em que o número de lugares disponíveis pode ser reduzido consoante a dimensão das faixas relvadas.

No cenário 3 o emprego de coberturas verdes em associação com os microrreservatórios revelou-se bastante exequível, podendo ser realizado posteriormente à construção do edifício, desde que a estrutura comporte o peso próprio de uma cobertura verde e haja disponibilidade de terreno para instalação do microrreservatório que, sendo na maioria dos casos enterrado, pode ser realizada numa área de jardim. O benefício ambiental destas duas estruturas conjugadas é amplificado já que, a cobertura verde desempenha um papel essencial na remoção da carga poluente da água da chuva e o microrreservatório para reutilização da água permite a diminuição do recurso à água potável da rede de abastecimento público. Apesar de a estimativa de volume aproveitável ser significativa, correspondendo a 9080 m³ anuais, este valor poderá não ser suficiente para garantir a totalidade dos consumos de água não potável de todos os edifícios ou por outro lado constituir um volume excessivo que culmina na descarga na rede de drenagem daí que seja fulcral a determinação dos consumos domésticos de água não potável para aferir com um maior grau de certeza o volume de água consumido. Embora este cenário pretendesse analisar o benefício ambiental, é de salientar o papel determinante que estes sistemas possuem a nível técnico pois, ainda que o volume de água armazenado não se destinasse à reutilização, as coberturas verdes e os microrreservatórios constituem estruturas de armazenamento temporário que permitem atenuar os picos de cheia.

Por último, no que se refere ao cenário 4, o dimensionamento de uma bacia de infiltração revela-se bastante complexo uma vez que é necessário o conhecimento dos dados de base para o cálculo (precipitação, tempo de concentração, tempo de retorno, etc.), assim como uma correta delimitação da área de contribuição para a bacia, sendo que neste situação hipotética apenas se considerou a área de estudo porém na realidade, para esta delimitação, é fulcral a análise da declividade do terreno, do sentido do escoamento, da capacidade de infiltração do solo e da localização da rede de drenagem. Mais uma vez, o fator ocupação do terreno foi determinante pois o facto de existir uma área permeável de dimensões significativas para

implantação da bacia de infiltração tornou-se essencial, embora a localização desta não seja a mais favorável do ponto de vista do sentido de escoamento e da área de estudo considerada. Do ponto de vista do benefício social a implantação desta técnica permite a utilização de um local sem um uso definido, como uma zona destinada à infiltração, sem que haja uma grande alteração da paisagem existente pois em grande parte do tempo, quando não há ocorrência de precipitação, esta estrutura funciona a seco. Também a nível técnico a bacia de infiltração dimensionada se revela vantajosa, garantindo um volume máximo de infiltração de 65,5 m³ diários, permitindo que este volume de água não afluia à rede de drenagem, revelando assim uma grande importância na eficiência deste sistema e na mitigação de situações de cheias e inundações.

6. CONCLUSÕES

A impermeabilização do solo, consequência do crescimento populacional e desenvolvimento das comunidades urbanas, aliada a uma gestão e manutenção da rede de drenagem de águas pluviais deficiente, revela-se como um fator modificador do ciclo hidrológico natural, podendo atuar como desencadeador de fenómenos de risco para a população, como é o caso da ocorrência de eventos de cheias e inundações, cada vez mais intensos e frequentes. A carga poluente presente nas águas pluviais é outro dos agentes que pode colocar em causa a integridade dos meios hídricos já que, desde que a água precipita até que é lançada no meio hídrico, a poluição existente não só na própria chuva mas principalmente nas superfícies impermeáveis é difundida através do escoamento superficial podendo culminar na contaminação de rios, lagoas e até mesmo dos aquíferos.

Numa primeira fase desta dissertação, e numa conjuntura atual da progressiva expansão das áreas impermeabilizadas, analisaram-se os inconvenientes a ela associados estando estes amplamente identificados, nomeadamente ao nível do reconhecimento de zonas sensíveis e possíveis medidas de mitigação. Em Portugal, salienta-se a articulação entre os Planos de Gestão de Risco de Inundações (PGRI) e os Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH), que agem como um instrumento de planeamento estratégico e de ordenamento com vista à minimização das consequências de possíveis situações de risco, sobretudo nas zonas mais suscetíveis. Contudo, a irradicação destes fenómenos é impraticável face à sua dependência de fatores meteorológicos e devido ao desenvolvimento desmedido e irrefletido das comunidades urbanas.

Neste sentido, surgem as técnicas de aproveitamento de água da chuva, constituindo um instrumento capaz de fazer uma aproximação ao ciclo hidrológico natural. A descrição realizada das diversas técnicas de aproveitamento de água da chuva permitiu aferir que o grau de benefício que a aplicação de cada uma das técnicas pode promover, supera o prejuízo causado que se prende sobretudo pelo dispêndio financeiro que é exigido mas que no entanto constitui o custo a pagar pelos erros cometidos no desenvolvimento descontrolado das cidades ao longo dos últimos anos. A descrição das várias técnicas demonstrou a aplicabilidade de cada uma das

estruturas, consoante o tipo de controlo que se pretende fazer, seja esta a promoção da infiltração, a remoção da carga poluente, a retenção temporária ou o aproveitamento da água da chuva para posterior reutilização. Este estudo permitiu ainda verificar que existem inúmeros estudos que analisam a eficiência de cada uma das técnicas, em cada um dos propósitos a que são destinadas, atuando como um suporte ao incentivo da aplicação destas estruturas em maior escala.

A análise comparativa efetuada sob a forma de uma matriz, com a definição dos respetivos parâmetros de comparação, mostrou-se uma ferramenta de fácil perceção das técnicas mais vantajosas sob o ponto de vista técnico, económico, ambiental e social, revelando o seu potencial para a elucidação acerca da técnica de aproveitamento de água pluvial a instalar consoante o benefício pretendido ou as técnicas mais vantajosas às quais se deve dar primazia em possíveis estudos. Porém, dado que possui um carácter pessoal, a esta análise comparativa está associada alguma subjetividade.

Por último, a aplicação das técnicas mais vantajosas a cada nível, aferidas através da matriz de comparação, foi realizada, de forma hipotética, num caso de estudo situado numa comunidade urbana pertencente ao concelho de Braga, recorrendo a quatro cenários distintos. Em cada um deles foram aplicadas respetivamente, trincheiras de infiltração, faixas relvadas, coberturas verdes em associação com microrreservatórios e uma bacia de infiltração. As principais dificuldades inerentes ao processo de dimensionamento e estimativa de volumes de água geridos, prendem-se sobretudo com a grande variedade de métodos de cálculo existentes, sendo portanto conveniente a seleção do método mais adequado e do qual haja conhecimento de todos os parâmetros envolvidos. Esta aplicação permitiu verificar que é essencial um profundo conhecimento não só das características associadas ao terreno onde será implantada a estrutura e respetiva área envolvente, assim como de todos os parâmetros hidrológicos da zona do estudo, no sentido de garantir que a técnica implantada cumpre as funções para as quais foi dimensionada. A aplicação ao caso de estudo demonstrou que existe uma condicionante essencial para a implantação das técnicas de aproveitamento de água da chuva que passa pela ocupação e uso do solo. Neste contexto, as coberturas verdes em conjugação com microrreservatórios revelaram-se mais vantajosas por constituírem uma técnica passível de ser utilizada numa área que não exige outro tipo de utilização.

Concluindo, o aproveitamento de água da chuva gera inúmeros benefícios ao nível do controlo de águas pluviais em comunidades urbano, pois permitem uma requalificação estética e um maior controlo na drenagem de água pluvial e contribuem para a minimização da carga poluente e promovem uma aproximação do ciclo hidrológico natural, atuando como um fator diminuidor da pegada ecológica associada a cada comunidade urbana. Estas soluções deverão ser portanto materializadas a uma escala mais significativa contudo, tal como todas as alterações de ordem antropogénica, a sua implementação deve ser alvo de estudos pormenorizados e de um enquadramento que englobe a interação entre o uso do solo, o meio ambiente e a população. Assim, sendo corretamente projetadas e exploradas não transferem problemas no tempo e no espaço a jusante, representando por isso, soluções que refletem o conceito de desenvolvimento sustentável.

6.1. Sugestões para trabalhos futuros

De acordo com as dificuldades sentidas ao longo desta dissertação, sugere-se uma análise de implantação das técnicas com um estudo mais acertivo dos parâmetros envolvidos. Percepciona-se igualmente como relevante a complementação deste estudo com um estudo de viabilidade técnico-económica das diferentes técnicas de aproveitamento de água da chuva identificadas. Seria ainda interessante repetir a mesma análise em casos de estudo diferentes, com ocupações do solo correspondentes, por exemplo, a uma zona ainda mais urbanizada, de maneira a identificar de que forma a metodologia desenvolvida permite identificar limitações reais de algumas técnicas. Por último refere-se a necessidade de estudar séries hidrológicas maiores e de complementar a análise com a simulação real do escoamento superficial e por exemplo dos caudais infiltrados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Publicações:

ABU-ZREIG, Majed; HAZAYMEH, Ayat; SHATANAWI, Muhammad. (2013). *Evaluation of residential rainfall harvesting systems in Jordan*. Urban Water Journal, 10:2, 105-111.

ANQIP - Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais. (2015). *Especificação Técnica ANQIP – ETA 0701.9: Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios (SAAP)*. Aveiro.

ANQIP - Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais. (2015). *Especificação Técnica ANQIP – ETA 0702.5: Certificação de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais*. Aveiro.

AREZES, Luís. (2015). *Gestão Sustentável de Águas Pluviais em Ambiente Urbano*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho, Guimarães.

BARROS, Nancy Simões. (2014). *Análise das propostas de adaptação aos fenómenos de inundação na Ria de Aveiro*. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro, Aveiro.

BERTOLO, Elisabete. (2006). *Aproveitamento da água da chuva em edificações*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

CARVALHO, Raquel. (2010). *Potencial económico do aproveitamento de águas pluviais: Análise da implantação de um sistema para a região urbana de Londrina*. Monografia apresentada para a obtenção do título de Especialista em Construção de Obras Públicas, Universidade Federal do Paraná, Apucarana.

CASTELO-BRANCO, Marta. (2012). *Coberturas Ajardinadas: Influência dos Substratos na Gestão de Águas Pluviais*. Dissertação em Engenharia de Sistemas Bioenergéticos, Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

DUNNETT, Nigel; CLAYDEN, Andy. (2007). *Rain Gardens: Managing water sustainably in the garden and designed landscape*. Timber Press, Inc. Portland, U.S.A.

FLORES, Gustavo. (2015). *Módulo em concreto para preenchimento de trincheiras de infiltração: comparação com o preenchimento com brita*. Trabalho de diplomação para a obtenção do título de Engenheiro Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

IDEQ – Idaho Department of Environmental Quality. (2005). *Storm Water Best Management Practices Catalog, Vegetable Filter Strip*. Documento digital. Disponível em: <http://www.deq.idaho.gov/media/618029-3.pdf>.

JUSTINO, Eliane; PAULA, Heber; PAIVA, Ed Carlo. (2011). *Análise do Efeito da Impermeabilização dos Solos Urbanos na Drenagem de Água Pluvial do Município de Uberlândia – MG*. Universidade Federal de Goiás, Goiás.

MACHADO, Tiago. (2012). *Simulação do Aproveitamento de Água da Chuva*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães.

MATIAS, Maria. (2006). *Bacias de retenção – Estudo de métodos de dimensionamento*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

MATOS, M. R. S. (2000). *Gestão Integrada de Águas Pluviais em Meio Urbano – Visão Estratégica e Soluções para o Futuro*. Teses e Programas de Investigação LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), Lisboa.

MATOS, Rafaela. (2008). *Gestão integrada de sistemas de saneamento*. Sessão – Soluções de Controlo de Águas Pluviais, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

MELO, Fátima. (2012). *Análise de Sustentabilidade de Técnica de Sistemas de Recolha de Águas Pluviais em Grandes Estruturas*. Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal.

NASCIMENTO, André. (2014). *Sistema de aproveitamento de águas pluviais em grandes superfícies e o seu impacto ambiental*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

NEVES, Mário; AFONSO, Armando. (2010). *Especificações Técnicas para o Aproveitamento da Água das Chuvas e das Águas Cinzentas nos Edifícios*. 5^{as} Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

OLIVEIRA, Fedra. (2008). *Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental - Simulador para avaliação da viabilidade*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

POMARES, Rui. (2010). *Diminuição do Pico de Cheia na Rede de Drenagem de Águas Pluviais através do Sistema de Aproveitamento de Água da Chuva*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade do Algarve, Faro.

QUADROS, Carlos. (2010). *Rainwater Harvesting - Case Study: FCT/UNL Campus*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

RAMOS, Catarina. (2013). *Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações*. Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa.

RODRIGUES, José. (2010). *Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais: Dimensionamento e Aspectos Construtivos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

SACADURA, Francisco. (2011). *Análise de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

SARAIVA, M. Graça; CARVALHO, Luís. (2009). *Rios e Cidades: oportunidades para a sustentabilidade urbana – risco de inundação*. Workshop e conferência final, Lisboa.

SILVA, Daniel. (2014). *Aproveitamento de água de chuva através de um sistema de coleta com cobertura verde: Avaliação da qualidade da água drenada e potencial de economia de água potável*. Projeto de Graduação para a obtenção do título de Engenheiro Civil, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, Ricardo Siloto da; SILVA, Eduardo Araújo. (2015). *Uso de “Ecotécnicas” no Manejo de águas Pluviais em Meio Urbano: Uma Abordagem Crítica*. Conferência EURO-ELECS 2015, Guimarães.

TOMAZ, Plínio. (2003). *Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis*. Navegar Editora. São Paulo.

TOMAZ, Plínio. (2009). *Curso de manejo de águas pluviais, Capítulo 60 - Pavimento poroso*. Documento digital. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/>.

TOMAZ, Plínio. (2010a). *Curso de manejo de águas pluviais, Capítulo 56 – Faixa de filtro gramada*. Documento digital. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/>.

TOMAZ, Plínio. (2010b). *Curso de manejo de águas pluviais, Capítulo 16 – Reservatório de infiltração*. Documento digital. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/>.

TOMAZ, Plínio. (2016). *Curso de manejo de águas pluviais, Capítulo 14 - Trincheiras de infiltração*. Documento digital. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/>.

VERDADE, Jorge. (2008). *Aproveitamento de água das chuvas e reutilização de águas cinzentas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

VIRGILIIS, Afonso. (2009). *Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

VIVAS, Eduardo; MAIA, Rodrigo. (2008). *Avaliação de situações de seca e escassez de água em Portugal Continental. Utilização de indicadores*. 9º Congresso da Água. Lisboa: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos.

Lista de sites consultados:

Quercus – Associação Nacional de Conservação da Natureza (obtido em junho de 2016):
<http://www.quercus.pt/comunicados/2003/setembro/2207-3-100-000-000-000-de-litros-de-agua-sao-desperdicados-anualmente-em-portugal;>

APA – Agência Portuguesa do Ambiente (obtido em junho de 2016):

[http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=860;](http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=860)

APA – Agência Portuguesa do Ambiente (obtido em junho de 2016):

[http://www.apambiente.pt/dqa/;](http://www.apambiente.pt/dqa/)

Geosynthetica – Engineering with Geosynthetics (obtido em julho de 2016):

[http://geosynthetica.net.br/impermeabilizacao-de-reservatorio-de-aguas-pluviais/;](http://geosynthetica.net.br/impermeabilizacao-de-reservatorio-de-aguas-pluviais/)

Your Home – Australian Government (obtido em julho de 2016):

<http://yourhome.gov.au/water/rainwater;>

Miller Company – Landscape Architects (obtido em julho de 2016):

<http://www.millercomp.com/projects/sfpuc-sfusd-rainwater-harvesting-gardens;>

Rainwater Harvesting – Centre for science and Environment (obtido em julho de 2016):

<http://www.rainwaterharvesting.org/international/china.htm;>

Convento de Cristo (obtido em julho de 2016):

<http://www.conventocristo.pt/pt/index.php?s=white&pid=263;>

Portal Brasil (obtido em julho de 2016):

<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/04/cisternas-garantem-agua-nas-escolas-do-semiarido;>

Empresa Ecoágua, Lda (obtido em julho de 2016):

http://www.ecoagua.pt/noticias_detail-id=223.php.html;

Aquafluxus – Consultoria Ambiental em Recursos Hídricos (obtido em agosto de 2016):

[http://www.aquafluxus.com.br/trincheiras-de-infiltracao/;](http://www.aquafluxus.com.br/trincheiras-de-infiltracao/)

AECweb – Portal de Arquitetura, Engenharia e Construção (obtido em setembro de 2016):

http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/pavimentos-permeaveis-evitam-acumulo-de-agua-no-piso_10955_0_1;

Soluções para Cidades – Projeto Técnico: Microrreservatórios (obtido em outubro de 2016):
www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Microreservat%C3%B3rios_web.pdf;

Soluções para Cidades – Projeto Técnico: Jardins de Chuva (obtido em outubro de 2016):
http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF_Jardins-de-Chuva-online.pdf;

Soluções para Cidades – Projeto Técnico: Pavimento Permeável (obtido em outubro de 2016):
http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf;

Soluções para Cidades – Projeto Técnico: Reservatórios de Detenção (obtido em outubro de 2016):
http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf;

Lake Superior Streams Duluth (obtido em outubro de 2016):
<http://www.lakesuperiorstreams.org/stormwater/toolkit/filterstrips.html>;

Melbourne Water (obtido em outubro de 2016):
<http://www.melbournewater.com.au/raingardens>;

3 Rivers Wet Weather Org (obtido em outubro de 2016):
<http://www.3riverswetweather.org/green/green-solution-vegetated-filter-strip>;

Zinco – Life on Roofs (obtido em outubro de 2016):
<http://www.zinco.pt/sistemas/index.php>;

Adaptis – Plataforma colaborativa para adoção de medidas de adaptação às alterações climáticas no setor industrial e dos serviços (obtido em outubro de 2016):
<http://adaptis.uc.pt/articles/21>;

IGRA - International Green Roof Association (obtido em outubro de 2016):
<http://www.igra-world.com>;

ANCV – Associação Nacional de Coberturas Verdes (obtido em outubro de 2016):

<http://ancv.webnode.pt;>

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (obtido em novembro de 2016):

<http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.1;>

RWRA – Regional Water Resource Agency (obtido em novembro de 2016):

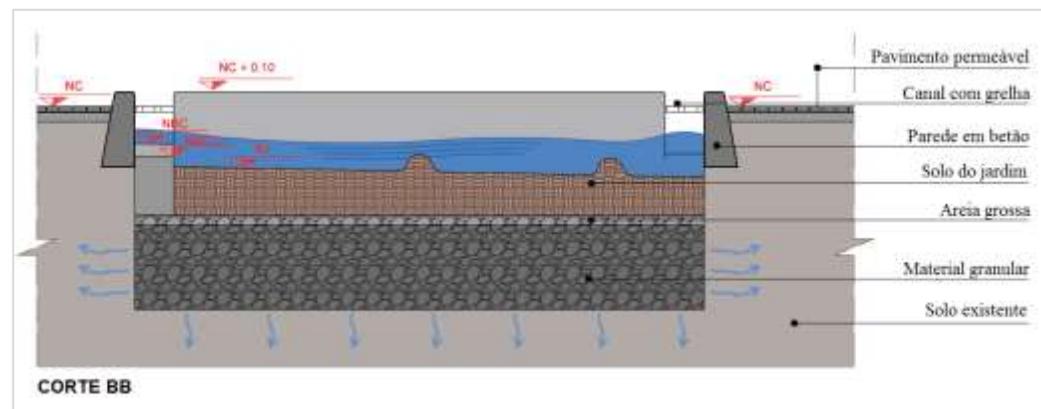
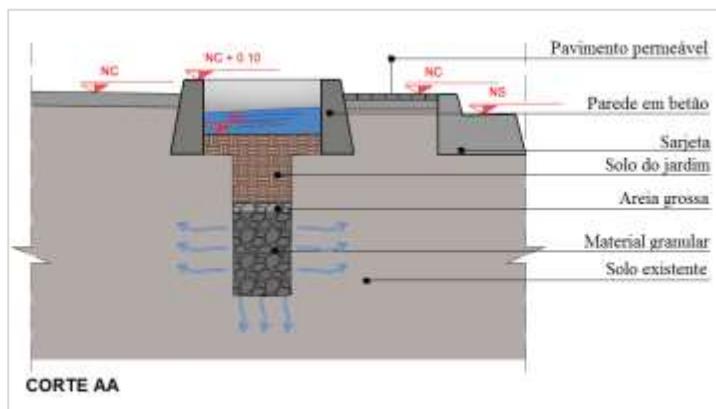
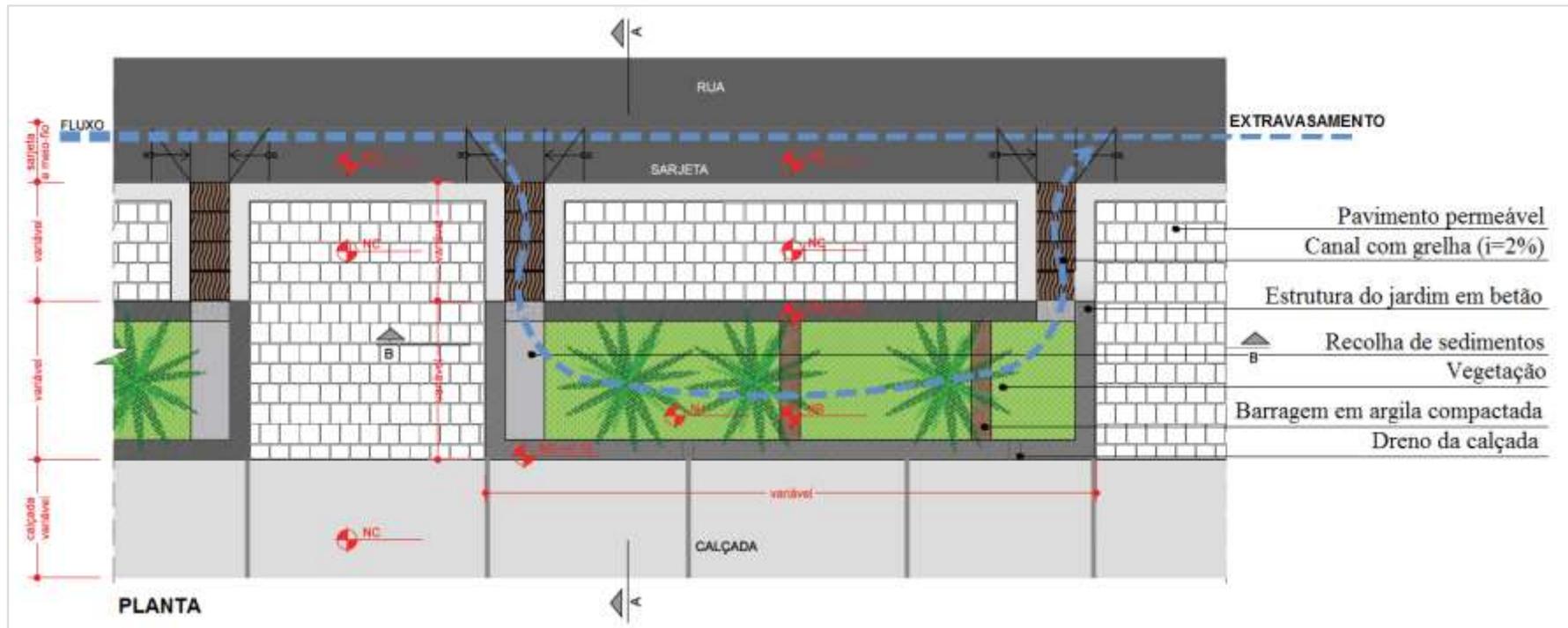
<http://www.rwra.org/wp-content/uploads/2011/09/Stormwater-Fact-Sheets-Minimum-Standards.pdf>

ANEXOS

Anexo I – Projeto de Sistema de Biorretenção

(Fonte: ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland e FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica)





Anexo II – Cenário 1: dimensionamento das trincheiras de infiltração

Dados de precipitação	
Precipitação média mensal (P)	128,4 mm
Tempo de concentração (t_c)	10 min \approx 0,17 h
Intensidade de precipitação (I)	770,40 mm/h

Outros valores considerados	
Porosidade (n)	0,4
Taxa de infiltração do solo (f)	20 mm/h
Tempo de retenção (Ts)	48 h
Coefficiente de escoamento (c)	0,5
Tempo de enchimento (t_e)	2 h

Dimensionamento										
	Área de contribuição	Profundidade máxima admissível	Profundidade adotada	Caudal superficial	Volume que entra na trincheira	Área superficial da trincheira	Largura	Comprimento	Volume da trincheira	Volume de armazenamento
	A (ha)	$d_{m\acute{a}x}$ (m)	d_t (m)	Q (m^3/s)	V_w (m^3)	$A_t(m^2)$	l (m)	c (m)	V_t (m^3)	V (m^3)
Trincheira 1	2,8	2,40	2,40	3,00	1797,6	46,81	1,5	31,2	44,94	17,98
Trincheira 2	3,4	2,40	2,40	3,64	2182,8	56,84	1,5	37,9	54,57	21,83
Trincheira 3	3,1	2,40	2,40	3,32	1990,2	51,83	1,5	34,6	49,76	19,90

Anexo III – Cenário 3: dimensionamento de microrreservatórios de aproveitamento de água da chuva

Dados de precipitação		
Precipitação acumulada anual (P)	média	1543 mm

Outros valores considerados	
Coefficiente de escoamento (C)	0,5
Eficiência hidráulica da filtragem (η_f)	0,9
Número máximo de dias de retenção da água no reservatório (N)	30

Número do edifício	Área de captação	Volume de água aproveitável	Volume útil do reservatório	Volume total do reservatório
	A(m ²)	V _a (m ³)	V _u (m ³)	V _t (m ³)
1	869	603,4	60,3	72,4
2	194	134,7	13,5	16,2
3	278	193,0	19,3	23,2
4	461	320,1	32,0	38,4
5	1461	1014,4	101,4	121,7
6	256	177,8	17,8	21,3
7	186	129,1	12,9	15,5
8	145	100,7	10,1	12,1
9	178	123,6	12,4	14,8
10	163	113,2	11,3	13,6
11	213	147,9	14,8	17,7
12	95	66,0	6,6	7,9
13	100	69,4	6,9	8,3
14	72	50,0	5,0	6,0
15	82	56,9	5,7	6,8
16	97	67,4	6,7	8,1
17	108	75,0	7,5	9,0
18	126	87,5	8,7	10,5
19	138	95,8	9,6	11,5
20	146	101,4	10,1	12,2
21	261	181,2	18,1	21,7
22	203	141,0	14,1	16,9
23	114	79,2	7,9	9,5
24	127	88,2	8,8	10,6

Número do edifício	Área de captação	Volume de água aproveitável	Volume útil do reservatório	Volume total do reservatório
	A(m ²)	V _a (m ³)	V _u (m ³)	V _t (m ³)
25	100	69,4	6,9	8,3
26	140	97,2	9,7	11,7
27	447	310,4	31,0	37,2
28	249	172,9	17,3	20,7
29	265	184,0	18,4	22,1
30	491	340,9	34,1	40,9
31	453	314,5	31,5	37,7
32	425	295,1	29,5	35,4
33	367	254,8	25,5	30,6
34	955	663,1	66,3	79,6
35	143	99,3	9,9	11,9
36	258	179,1	17,9	21,5
37	287	199,3	19,9	23,9
38	270	187,5	18,7	22,5
39	173	120,1	12,0	14,4
40	258	179,1	17,9	21,5
41	386	268,0	26,8	32,2
42	396	275,0	27,5	33,0
43	357	247,9	24,8	29,7
44	243	168,7	16,9	20,2
45	341	236,8	23,7	28,4
Totais	13077	9080	908	1090

Anexo IV – Frequência de precipitações que produzem escoamento para a estação de Barcelos (04F/01C) no ano hidrológico de 2015/2016

Data	Precipitação diária (mm)	Precipitação diária ordenada (mm)	Porcentagem acumulada do escoamento (%)
04/10/2015	11,5	1,5	1,43
05/10/2015	28,1	2,0	2,86
06/10/2015	27,4	2,1	4,29
11/10/2015	11,1	2,1	5,71
12/10/2015	8,8	2,3	7,14
18/10/2015	4,2	2,4	8,57
19/10/2015	6,3	2,4	10,00
01/11/2015	3	2,4	11,43
14/11/2015	8,2	2,5	12,86
21/11/2015	5,1	2,6	14,29
22/11/2015	2,6	2,6	15,71
23/11/2015	2,1	3,0	17,14
08/12/2015	23,3	3,1	18,57
14/12/2015	19,8	3,2	20,00
15/12/2015	16,9	3,9	21,43
18/12/2015	10,9	4,2	22,86
20/12/2015	15,8	4,7	24,29
23/12/2015	6,4	5,1	25,71
24/12/2015	12	5,8	27,14
07/01/2016	19	6,0	28,57
08/01/2016	12,6	6,3	30,00
09/01/2016	17,3	6,4	31,43
10/01/2016	42,4	6,4	32,86
11/01/2016	31,9	7,1	34,29
12/01/2016	6,4	7,2	35,71
14/01/2016	30,5	7,8	37,14
18/01/2016	8,3	8,2	38,57
21/01/2016	6	8,3	40,00
22/01/2016	3,1	8,8	41,43
26/01/2016	1,5	8,8	42,86
28/01/2016	17,5	8,8	44,29
31/01/2016	2,6	8,8	45,71
07/02/2016	18,9	8,8	47,14
08/02/2016	2,4	9,1	48,57
09/02/2016	10,6	9,4	50,00

Data	Precipitação diária (mm)	Precipitação diária ordenada (mm)	Porcentagem acumulada do escoamento (%)
10/02/2016	24,9	10,0	51,43
11/02/2016	12,7	10,0	52,86
12/02/2016	29,1	10,1	54,29
13/02/2016	56,2	10,6	55,71
14/02/2016	22,7	10,7	57,14
15/02/2016	7,8	10,9	58,57
18/02/2016	9,4	11,1	60,00
05/03/2016	7,2	11,5	61,43
07/03/2016	4,7	11,8	62,86
09/03/2016	7,1	12,0	64,29
10/03/2016	2,3	12,6	65,71
31/03/2016	5,8	12,7	67,14
03/04/2016	10	15,5	68,57
04/04/2016	16,3	15,8	70,00
05/04/2016	8,8	16,3	71,43
09/04/2016	2,1	16,9	72,86
10/04/2016	10,7	17,3	74,29
11/04/2016	26	17,5	75,71
12/04/2016	8,8	17,5	77,14
13/04/2016	9,1	17,7	78,57
14/04/2016	15,5	18,9	80,00
15/04/2016	3,9	19,0	81,43
16/04/2016	23,2	19,8	82,86
19/04/2016	2,5	22,7	84,29
06/05/2016	10,1	23,2	85,71
28/05/2016	17,7	23,3	87,14
29/05/2016	11,8	24,9	88,57
06/06/2016	2,4	26,0	90,00
15/06/2016	8,8	27,4	91,43
16/06/2016	8,8	28,1	92,86
17/06/2016	2,4	29,1	94,29
19/08/2016	2	30,5	95,71
13/09/2016	17,5	31,9	97,14
16/09/2016	3,2	42,4	98,57
25/09/2016	10	56,2	100,00