



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em zonas urbanas: estudo exploratório no Pólo II da Universidade de Coimbra

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente

Autor

Susana Brito Duarte Sousa

Orientadores

João Luís Mendes Pedroso de Lima

Maria Isabel Mendes Leal Pereira Pedroso de Lima

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Janeiro, 2015

AGRADECIMENTOS

Gostaria de aqui manifestar o meu agradecimento a todas as pessoas que me ajudaram a tornar possível este trabalho:

Ao Professor Doutor João Pedroso de Lima e à Professora Doutora Maria Isabel Pedroso de Lima por toda a disponibilidade prestada, pela orientação e revisão da dissertação, e pelos ensinamentos transmitidos.

À Professora Doutora Paula Morais, pela ajuda prestada na realização da análise microbiológica da água.

Ao Sr. Joaquim, funcionário do Departamento de Engenharia Civil, pela colaboração na conceção do equipamento experimental.

Ao IMAR- Instituto do Mar, pela realização da análise química às amostras de água recolhidas no âmbito do presente trabalho.

Aos meus Pais e irmão, o meu pilar, o meu agradecimento por todo o apoio e coragem que me transmitiram ao longo de toda a minha vida e do meu percurso académico.

Por fim, a todos os meus amigos, pela amizade, companheirismo e todos os bons momentos vividos ao longo destes últimos cinco anos do curso.

RESUMO

A preservação e utilização eficiente dos recursos hídricos têm sido identificadas como principais prioridades para garantir a sustentabilidade da vida no Planeta. Neste contexto, o uso de fontes alternativas de água tem vindo a ser encarado como uma medida necessária face ao problema de escassez de água. O aproveitamento das águas pluviais destaca-se como uma alternativa, simples e acessível, que visa reduzir o consumo de água potável tratada e que ainda pode ser vantajosa porque promove a redução do escoamento superficial na perspetiva da minimização dos problemas com cheias em áreas urbanas.

O objetivo do presente trabalho foi estudar o potencial de aproveitamento das águas pluviais em meio urbano para fins não potáveis, como a descarga de autoclismos. O estudo, com aplicação no Departamento de Engenharia Civil (DEC), no Pólo II da Universidade de Coimbra, envolveu, sob o ponto de vista qualitativo, a caracterização da qualidade da água da chuva e das águas de escoamento gerado na cobertura do edifício e, sob o ponto de vista quantitativo, a avaliação dos volumes de água pluvial drenada de um pequeno sector dessa cobertura. Realizou-se, também, um pré-dimensionamento do reservatório de armazenamento da água pluvial drenada, tendo sido averiguado o potencial de economia de água potável, no âmbito deste caso concreto.

Os resultados sugerem que a água da chuva e a água de escoamento captada na cobertura do edifício apresentam qualidade físico-química e bacteriológica adequadas à utilização da água de drenagem em descargas de autoclismos, como se pretendia averiguar, necessitando apenas de filtragem. Embora para a área de captação da água da chuva considerada neste estudo (i.e. 25,22 m²) o potencial de poupança de água e o custo médio do reservatório de armazenamento não indicarem a viabilidade económica da implementação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais destinado a servir os sanitários do Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (L.H.R.H.A), é expectável que a utilização de uma área maior de captação e, eventualmente, a adoção de um outro revestimento, possa conduzir a resultados mais encorajadores.

ABSTRACT

The preservation and efficient use of water resources are high priority to ensure the sustainability of life on the planet. In this context, the use of alternative water sources is faced as a necessary measure to deal with the problem of water scarcity. Rainwater harvesting is one such alternative, simple and accessible, which aims to reduce the consumption of treated drinking water and which can still be advantageous because it promotes the reduction of runoff, contributing thus to minimizing problems with urban flooding.

The aim of this work was to study the potential use of rainwater in urban areas for non-potable purposes such as flush toilets in the Department of Civil Engineering (DEC), in Campus II of the University of Coimbra. The quality of the rainwater and runoff from the roof was evaluated in this case study, as well as the amount of water captured. A pre-sizing of a rainwater storage tank was also attempted, and the potential savings of drinking water was examined.

Results showed that the rainwater and the runoff water collected had physical-chemical and bacteriological quality for use in flushing discharges, requiring only filtration. For a rainwater catchment area of 25,22 m², the potential savings of water and the average cost of the storage tank suggest that it might not be economically feasible to implement a rainwater harvesting system for water supply to flush toilets of the Laboratory of Hydraulics, Water Resources and Environment (L.H.R.H.A). Nevertheless, using other collecting areas and other surface lining could lead to a different assessment, which should be further explored.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS E QUADROS	vi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Estrutura da dissertação	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis.....	4
2.2. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAAP).....	8
2.2.1. Descrição geral	8
2.2.2. Componentes de um SAAP.....	12
2.3. Qualidade da água da chuva	15
2.4. Enquadramento legal	23
2.4.1. Aproveitamento das águas pluviais	23
2.4.2. Qualidade da água	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS: CASO DE ESTUDO	27
3.1. Caso de estudo	27
3.1.1. Regime pluviométrico	27
3.1.2. Cobertura	29
3.2. Caracterização da qualidade da água da chuva.....	30
3.2.1. Recolha de amostras	30
3.2.2. Parâmetros de qualidade da água analisados e equipamentos.....	32
3.3. Instalação experimental na cobertura.....	32

3.3.1.	Udómetros e determinação do coeficiente de escoamento superficial	35
3.3.2.	Caraterização da qualidade da água de escoamento superficial	36
3.4.	Dimensionamento do reservatório	41
3.4.1.	Programa de cálculo- Netuno 4.0	41
3.4.2.	Método detalhado	43
3.4.3.	Consumos de água	45
3.5.	Avaliação da poupança anual em água potável	45
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1.	Qualidade da água da chuva	47
4.2.	Qualidade da água de escoamento superficial	49
4.2.1.	Qualidade físico-química.....	49
4.2.2.	Análise comparativa: qualidade físico-química da água de escoamento superficial e qualidade da água da chuva	52
4.2.3.	Qualidade microbiológica.....	54
4.3.	Desvio do escoamento inicial e considerações finais sobre a qualidade da água aproveitada.....	55
4.4.	Coeficiente de escoamento superficial	56
4.5.	Volume do reservatório	57
4.6.	Poupança em água potável e custo do reservatório	60
5.	CONCLUSÕES.....	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	ANEXOS	A

ÍNDICE DE FIGURAS E QUADROS

Figuras

Fig. 2.1. Estrutura de consumos de água no setor doméstico com consideração de usos exteriores (Adaptado de Almeida et al., 2006).....	5
Fig. 2.2. Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais indireto (adaptado de Rainharvesting@ 2014).....	9
Fig. 2.3. Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais direto (adaptado de Rainharvesting@ 2014).....	9
Fig. 2.4. Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais por gravidade (adaptado de Roebuck, 2007).	10
Fig. 2.5. Esquema exemplificativo de um dispositivo de “first-flush” (Rainharvest@ 2014). 12	
Fig. 2.6. (a) Filtro de descida (Rainharvest@, 2014); (b) Filtro vórtice (AquaStock, 2013); (c) Filtro flutuante (Ambietel@, 2011).	13
Fig. 2.7. (a) Reservatório ECODEPUR ® (Ecodepur@, 2014); (b) “Freio de água” (Ecoágua, 2011); (c) Sifão de transbordo (Ambietel@, 2011); (d) Sistema de recuperação da água da chuva RMQ da empresa Grundfos (Grundfos@, 2014).	14
Fig. 3.1. Zona de estudo, próxima ao L.H.R.H.A, com identificação da área de captação da água da chuva.	27
Fig. 3.2. Precipitação anual e precipitação média anual em Coimbra no período de 1941 a 2012.	28
Fig. 3.3. Precipitação média mensal em Coimbra no período de 1941 a 2012.	28
Fig. 3.4. Número máximo de dias secos consecutivos no período de 1941 a 2012 em Coimbra.	29
Fig. 3.5. (a) Esquema da cobertura do DEC; (b) Parte da cobertura e ralo de pinha do tubo de queda.....	30
Fig. 3.6. (a) Amostrador sequencial da água da chuva; (b) Pormenor da caleira com os frascos de amostragem; (c) Pormenor de um frasco de amostragem.	31
Fig. 3.7. Esquema hidráulico do amostrador sequencial da água da chuva (adaptado de Carvalho et al., 2014).	31
Fig. 3.8. (a) Local selecionado para a instalação experimental; (b) Instalação experimental. .	33
Fig. 3.9. Esquema hidráulico da instalação experimental.	34
Fig. 3.10. (a) Localização dos udómetros na cobertura do edifício do DEC, junto à instalação experimental; (b) udómetros utilizados.	36

Fig. 4.1. Variação da concentração dos parâmetros pH, condutividade, turvação, nitratos, potássio, cloreto e sódio nas amostras de água da chuva recolhidas ao longo do evento de precipitação ocorrido no dia 13-Out-2014 (até uma precipitação acumulada de 10 mm).	48
Fig. 4.2. Análise gráfica da variação da concentração dos parâmetros cloreto, nitratos, sódio, potássio e turvação, pH e condutividade nas amostras de água recolhidas em cada um dos reservatórios (Res.1, Res.2 e Res.3) e respetivos limites paramétricos.....	50
Fig. 4.3. Valor médio de cada parâmetro de qualidade analisado para a água de escoamento superficial (referentes aos 6 eventos analisados) e água da chuva.	53
Fig. 4.4. Identificação de colónias: (a) E.coli; (b) Coliformes totais; (c) Enterococos fecais e (d) <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	54
Fig. 4.5. Coeficientes de escoamento obtidos nos eventos de precipitação monitorizados no presente estudo nos meses de Junho, Julho, Setembro, Outubro e Novembro e respetivos valores médios.	56
Fig. 4.6. Gráfico volume do reservatório versus potencial de economia de água potável, com a indicação do volume ideal, para os três cenários (cenário 1, curva a azul; cenário 2, curva a amarelo e cenário 3, curva a vermelho).....	59
Fig. A.1. (1) Medidor de pH e temperatura “HI8314”; (2) Medidor da turvação “HI93125”; (3) Medidor multi-gama de condutividade elétrica “HI8033”.	A-1
Fig. A.2. Instalação experimental e pormenor do sistema de flutuadores.....	A-1
Fig. B.1. Visualização em três dimensões da instalação experimental.....	B-1

Quadros

Quadro 2.1. Exemplos de critérios microbiológicos de qualidade da água da chuva para fins não potáveis	26
Quadro 3.1. Parâmetros de qualidade da água analisados para a água da chuva.	32
Quadro 3.2. Características gerais dos reservatórios.....	34
Quadro 3.3. Parâmetros microbiológicos analisados da água de escoamento superficial.....	38
Quadro 3.4. Quadro resumo dos fatores intervenientes na análise microbiológica e identificação de colónias para cada parâmetro.	40
Quadro 4.1. Quadro-resumo das amostras de água de escoamento analisadas e das condições de recolha.....	49
Quadro 4.2. Resultados da análise microbiológica da água de escoamento superficial.....	54
Quadro 4.3. Dados de entrada no programa Netuno, para os três cenários.....	57
Quadro 4.4. Resultados da simulação para os vários cenários.	58
Quadro 4.5. Percentagem dos dias da simulação em que a necessidade em água pluvial foi atendida totalmente, parcialmente ou não foi atendida para os três cenários.....	59
Quadro 4.6. Potencial poupança anual obtida com utilização de um sistema de aproveitamento da água da chuva com eficiência de 55% para o presente caso de estudo.	61
Quadro 4.7. Custos de reservatórios de superfície em PEAD.	62

Quadro D.1. Resultados da qualidade físico-química da água da chuva (evento de precipitação ocorrido no dia 13-Out-2014).....	D-1
Quadro E.1. Resultados da qualidade físico- química da água de escoamento e comparação com os limites paramétricos estabelecidos no anexo VI do DL n° 236/96.....	E-1
Quadro F.1. Número de descargas de autoclismo diárias e semanais durante o período de registo, nos sanitários femininos.....	F-1
Quadro F.2. Número de descargas de autoclismo diárias e semanais durante o período de registo, nos sanitários masculinos.....	F-1
Quadro F.3. Resultados do questionário.....	F-1

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A água é um dos recursos mais fundamentais e mais partilhados do Planeta. É um bem vital para a Humanidade. Contudo, o crescimento demográfico bem como o progresso tecnológico, que proporcionou uma mudança dos padrões de consumo, e as alterações climáticas têm conduzido a exigências globais de água muitas vezes insustentáveis, tornando este recurso cada vez mais escasso. A Organização das Nações Unidas (ONU) afirma que a água será a causa de maior conflito mundial nas próximas décadas (un-water@, 2014). Neste sentido, a preservação e utilização eficiente dos recursos hídricos são imperativos para garantir a sustentabilidade da vida no Planeta.

O uso de fontes alternativas de água tem vindo a ser encarado como uma das medidas necessárias ao aumento da eficiência hídrica. O aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em zonas urbanas surge como uma alternativa, simples e acessível, que visa reduzir o consumo de água potável e simultaneamente permite uma melhor distribuição da carga de água pluvial nos sistemas de drenagem urbana, minimizando assim os problemas com cheias.

De acordo com o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), o sector urbano é o mais representativo em termos de custos com os volumes de água consumidos. Nele se enquadra o setor doméstico que é responsável por 64% deste consumo urbano de água (usos de água efetuados no interior e envolvente das habitações pelos ocupantes), onde práticas como a descarga de autoclismos representam cerca de 28% do consumo total de água (PNUEA, 2012).

A utilização de água potável para este fim, a par da rega de jardins e lavagem de pavimentos, é considerada desperdício, dado que estas práticas podem ser realizadas com água de qualidade inferior, nomeadamente água pluvial recolhida e armazenada.

É em todo este contexto que o aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em edificações, tema deste trabalho, assume grande importância.

Em Portugal, a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial ainda não é prática muito corrente, não existindo ainda também legislação específica que a regule.

O aproveitamento da água da chuva é uma técnica largamente difundida em países como a Alemanha, Austrália, Japão, Brasil, Índia, Estados Unidos da América, China, Inglaterra onde, em alguns, são oferecidos financiamentos para a construção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

A instalação destes sistemas em edifícios escolares e universitários apresenta uma grande potencialidade dadas as grandes áreas de cobertura que normalmente estes edifícios ostentam. No entanto, a nível nacional ainda poucos estudos incidem na implantação destes sistemas em edificações universitárias e a avaliação qualitativa da água da chuva quer no seu estado natural quer no processo de captação nestes estudos é praticamente inexistente.

A caracterização da qualidade da água da chuva é uma componente importante num estudo de aproveitamento de águas pluviais. A água da chuva, em geral, é considerada de boa qualidade, sendo as suas propriedades físicas e químicas normalmente superiores às fontes de águas subterrâneas ou superficiais (GDRC, 2011), podendo assim ser destinada a qualquer fim não potável, necessitando somente de um certo grau de filtragem.

Contudo, a sua qualidade depende diretamente da composição atmosférica e do nível de poluição existente na região onde é armazenada e também das condições das superfícies de captação onde a água irá ser aproveitada.

Dessa forma, os estudos de aproveitamento de águas pluviais em termos qualitativos e quantitativos são de extrema importância, para avaliar a viabilidade técnica do aproveitamento da água da chuva nas regiões em estudo.

Neste âmbito, pretendeu-se com o presente trabalho estudar a potencialidade do aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis numa edificação universitária como a do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (DEC-FCTUC) sob o ponto de vista quantitativo e qualitativo, englobando a avaliação de parâmetros qualitativos da água da chuva e das águas de escoamento superficial.

Estudou-se, como caso prático, a viabilidade da implementação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais de pequenas dimensões destinado a servir os sanitários do Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (L.H.R.H.A) do DEC/FCTUC, tendo-se avaliado o potencial de poupança de água potável neste caso.

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo o estudo do potencial de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra (DEC/FCTUC), envolvendo componentes de quantidade e qualidade das águas.

Para tal, pretendeu-se concretizar os seguintes objetivos específicos:

- ♦ Estudo geral do regime pluviométrico existente em Coimbra através de séries temporais longas (72 anos) de precipitação diária;
- ♦ Avaliar a qualidade da água da chuva através da recolha de amostras num amostrador sequencial;
- ♦ Instalação de um sistema experimental na cobertura do DEC com vista à monitorização e avaliação da quantidade e qualidade da água pluvial escoada;
- ♦ Avaliação da quantidade inicial de água pluvial a ser desprezada no processo de captação e estudo de técnicas de rejeição adequadas;
- ♦ Estimativa dos consumos de água potável relativos aos sanitários do Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do DEC/FCTUC;
- ♦ Dimensionamento do reservatório de armazenamento das águas pluviais;
- ♦ Avaliação da poupança anual de água potável.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação é desenvolvida ao longo de 5 capítulos. Neste primeiro capítulo, relativo à Introdução, apresenta-se o enquadramento do trabalho, os objetivos gerais e específicos do mesmo e a estrutura da presente dissertação. No capítulo 2 é efetuada uma revisão bibliográfica sobre o aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis e uma descrição geral dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e seus principais componentes; por fim, são abordados aspetos da qualidade da água e é feito o enquadramento legal relativo ao tema. No capítulo 3 faz-se uma descrição do estudo de caso apresentando-se os métodos a ser adotados bem como os materiais e equipamentos utilizados para a concretização dos objetivos do trabalho. No capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos no estudo exploratório do potencial de aproveitamento da água da chuva e, no capítulo 5, as principais conclusões do presente estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis

A escassez hídrica já é uma realidade em muitos países, 40% da população mundial vive em bacias hidrográficas com escassez de água (OECD, 2012) e segundo a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) a procura mundial de água aumentará 55% até 2050 (OECD, 2012). No futuro as alterações climáticas acentuarão a intensidade e frequência destes eventos de escassez em países do sul da Europa, como Portugal que, embora apresente elevado potencial de recursos hídricos, a inadequada distribuição temporal e espacial conduz à sua indisponibilidade para uso (EEA, 2012; PNUMA, 2012). Perante este cenário, medidas de preservação e utilização eficiente dos recursos hídricos são imperativos para garantir as necessidades humanas e o funcionamento adequado dos ecossistemas.

Tendo em conta o aumento da eficiência hídrica, a Agência Europeia do Ambiente (EEA) referiu medidas que permitem, potencialmente, reduzir o uso de água de abastecimento público. A par da utilização de dispositivos de poupança de água, a reutilização de águas cinzentas, mudança de comportamento através da sensibilização e redução de perdas de água nas redes de distribuição e abastecimento enquadra-se a técnica de aproveitamento das águas pluviais (EEA, 2012).

O aproveitamento das águas pluviais é o método pelo qual a água da chuva que cai sobre uma superfície de recolha, normalmente o telhado de um edifício, é recolhida e encaminhada para uma instalação de armazenamento para uso posterior nos pontos de consumo desejados.

A captação das águas pluviais para aproveitamento em usos não potáveis pode ser realizada em diferentes instalações, incluindo as residenciais, comerciais ou industriais. O consumo doméstico constitui a maior parcela dos consumos de água no setor urbano, pelo que a aplicação de medidas eficientes neste setor apresenta um grande potencial de redução de consumo.

Na Fig. 2.1 está apresentada a estrutura de consumos de água estimados, a nível nacional, no setor doméstico, tendo em consideração usos exteriores efetuados na envolvente das habitações (apresentado em Almeida et al., 2006). É de salientar que a grande parcela de consumo de água é relativa a práticas como descarga de autoclismos (28%) e duches (32%); sendo que, segundo Almeida et al., 2006, apenas uma fração de 3% corresponde aos usos alimentares como ingestão e preparação de alimentos.

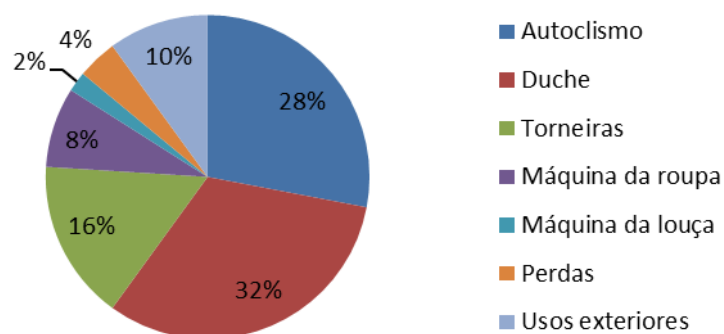


Fig. 2.1. Estrutura de consumos de água no setor doméstico com consideração de usos exteriores (Adaptado de Almeida et al., 2006).

No que concerne ao setor industrial ou comercial, a água da chuva também pode ser aproveitada para usos não potáveis como arrefecimento de equipamentos e máquinas, sistemas AVAC, combate a incêndios, rega de espaços verdes, lavagem de veículos, lavagem de roupas, reposição de água evaporada de piscinas, entre outros (Oliveira, 2008).

A utilização da água da chuva está longe de ser uma prática recente. A sua utilização como fonte de abastecimento tem sido relatada em antigas civilizações gregas e romanas, apresentando-se como uma tradição de séculos (DeBusk e Hunt, 2012 e Helmreich e Horn, 2009). Em zonas áridas, com limitado acesso aos recursos hídricos, esta prática já era muito comum desde a Idade Média (DeBusk e Hunt, 2012 e Roebuck, 2007). Em Portugal, temos o exemplo da Fortaleza dos Templários (século XII) localizada na cidade de Tomar onde a mesma era abastecida com água da chuva. Com o desenvolvimento e expansão dos sistemas de abastecimento público de água e devido ao pouco conhecimento das características da água da chuva, as técnicas de aproveitamento das águas pluviais não tiveram um maior interesse e ampla aplicação. Atualmente tem surgido um interesse renovado, estando de novo a ser posto em prática, como fonte alternativa de água.

A urbanização aumentou drasticamente a quantidade de áreas impermeáveis conduzindo assim à diminuição de infiltração das águas pluviais e conseqüente aumento do escoamento superficial, aumentando a probabilidade da ocorrência de cheias e a frequência de descargas nos sistemas de drenagem. O aproveitamento da água da chuva permite assim reduzir a carga de água pluvial nos sistemas de drenagem urbana durante precipitações intensas (particularmente importante em países com recursos de água abundantes), minimizando assim os problemas com cheias (EEA, 2012).

Para além de proporcionar uma redução no consumo de água potável e redução no escoamento das águas pluviais em meios urbanos, o aproveitamento da água da chuva apresenta a vantagem importante desta ser fornecida localmente ou próximo dos pontos de consumo. Com a larga difusão desta técnica, no futuro, os sistemas de abastecimento e drenagem de água poderão ser menores e de manutenção e instalação mais económicos (Santos et al., 2011a; Zhang et al., 2014; Neto, 2013).

Apesar de tudo isto, existem ainda alguns problemas que dificultam a implementação generalizada de sistemas de aproveitamento das águas pluviais. Subsiste ainda alguma incerteza quanto ao real desempenho económico e ambiental dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais (Devkota, 2013) e potenciais poupanças. Os custos de instalação e o período de retorno do investimento apresentam-se também como obstáculos importantes à sua implementação (Santos et al., 2011a). Por outro lado, a ausência de estratégias governamentais a longo prazo de incentivo à implementação destes sistemas (Helmreich e Horn, 2009; Lye, 2009) bem como o desconhecimento e preocupações relativas à qualidade da água também impedem a sua larga aplicação (Lye, 2009; Zhang et al., 2014).

Exemplos de aproveitamento da água da chuva no Mundo e em Portugal

Imensos sistemas de aproveitamento da água da chuva foram e estão a ser implementados em todo o Mundo para fins não potáveis como a rega de jardins, descarga de autoclismos, máquinas de lavar roupa, limpeza de equipamentos, entre outros.

Países como a Alemanha, Austrália, Japão, Brasil, Índia, Estados Unidos da América, China, Inglaterra são exemplos no que respeita à instalação de sistemas de recolha e armazenamento da água da chuva, onde inclusive em alguns são oferecidos financiamentos para a implantação destes sistemas.

Na cidade de Tóquio, no Japão, o aproveitamento de águas pluviais é promovido com os objetivos de mitigar a escassez de água, controlar escoamentos pluviais e assegurar água para emergências. A maior arena coberta de torneios de luta livres, Ryogoku Kokugikan, construída em 1985, é uma instalação que utiliza a água da chuva em grande escala. A água da chuva é captada na cobertura da arena com 8400 m² e encaminhada para um reservatório com capacidade de 1000 m³ sendo posteriormente usada nos sistemas de ar condicionado e nos sanitários em descargas de autoclismos (UNEP@, 2014). A cidade tem regulamentação que obriga a que todos os edifícios com uma área construída superior a 30000 m² ou que utilizem mais de 100 m³ de água por dia para fins não potáveis reutilizem a água da chuva (Marinoski, 2007).

Já na Bélgica, a obrigatoriedade de instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais é destinada aos novos edifícios com uma área de cobertura superior a 100 m² (Environment Agency UK, 2008).

Em 2008, a entidade para o uso da água na cidade de Albuquerque, nos Estados Unidos da América, instituiu normas que exigem a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em novos edifícios, com captação do escoamento em pelo menos 85% da área da cobertura. As edificações que apresentem área superior a 2500 m² são obrigadas a ter um reservatório e sistema de bombagem, enquanto que edifícios menores podem utilizar apenas reservatórios ou barris para a recolha da água da chuva (USEPA, 2008). Regulamentos semelhantes também foram aprovados em pelo menos quinze cidades da Índia (Domènech e Sauri, 2011). Na região central do Texas, mais de 400 sistemas de captação de água da chuva em larga escala foram instalados por empresas profissionais (Texas Water Development Board, 2005), sendo também que este estado dos Estados Unidos da América tem isenções fiscais para promover a utilização da água da chuva (Domènech e Sauri, 2011).

Na China, nos últimos anos, construíram-se mais de cinco milhões de reservatórios (Neto, 2013). No Brasil, o governo apoia um programa que tem como objetivo instalar um milhão de reservatórios nas suas regiões semi-áridas (Domènech e Sauri, 2011).

Em 2001, o governo do Estado de Victoria, na Austrália, introduziu legislação urbanística para que em todo o Estado se procedesse à instalação de reservatórios de água da chuva com capacidade até 4500 litros, exceto em zonas de património (Khastagir e Jayasuriya, 2010). Também em Espanha, na Catalunha, vários municípios estão também a aprovar regulamentação ao nível da eficiência hídrica que impõe a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios novos com uma determinada área de jardim (Domènech e Sauri, 2011).

Na Alemanha, o aproveitamento de águas pluviais generalizou-se desde 1980. Atualmente, em cada ano, são instalados cerca de 50000 sistemas de aproveitamento de águas pluviais profissionais em novas habitações unifamiliares (Nolde, 2007). No setor industrial e comercial, tem-se o exemplo do centro de manutenção da Lufthansa, em Hamburgo, referência internacional na recuperação e manutenção de aeronaves utiliza a água da chuva nos serviços de limpeza das aeronaves e na secção de pinturas. A água da chuva substitui em 60% a anterior necessidade de água da rede de abastecimento público (3P Technik@, 2014).

Em Portugal, a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial ainda não é prática muito corrente, sendo uma área ainda em desenvolvimento. No entanto é de salientar que a nível nacional já se procede à comercialização de equipamentos e componentes necessários à

captação e armazenamento da água da chuva, limitados ao acesso de indivíduos com capacidade financeira para suportar o investimento privado individual. Os casos existentes de implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais comprovam que estes são geralmente efetuados na fase de conceção do edifício, também devido à dificuldade associada ao dimensionamento e aos custos inerentes de uma instalação posterior à fase de construção.

Dois casos de aplicação destes sistemas são as moradias unifamiliares em Corroios e em Lisboa, ambos projetos de referência da empresa Ecoágua Lda, especializada em sistemas de aproveitamento de água pluvial, projetados para áreas de captação de 170 m² e 100 m², respetivamente. A água da chuva seria destinada não só para rega do jardim mas também para abastecimento dos autoclismos e da máquina de lavar a roupa (Ecoágua@, 2014).

Como exemplo de um caso de aplicação em edifícios não residenciais refere-se o Centro Comercial 8^a Avenida, em São João da Madeira, que possui sistema de aproveitamento da água da chuva que abastece sanitas, os urinóis e rede de rega das floreiras.

Um estudo de Santos et al. (2011a) sobre a implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios de diversas tipologias em Portugal demonstrou que os edifícios de grandes dimensões são os que apresentam menores custos específicos e menores períodos de retorno de investimento, sendo assim bons investimentos e proporcionando elevada poupança.

Os edifícios escolares ou universitários apresentam grande potencialidade para a instalação destes sistemas pois apresentam grandes áreas de cobertura para captação da água da chuva e elevados custos com a água utilizada. A escola básica em Leça do Balio em Matosinhos é um exemplo, com uma área de captação da água da chuva de 1665 m², com utilização da água na rega e em descargas de autoclismos.

2.2. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAAP)

2.2.1. Descrição geral

O aproveitamento da água da chuva é realizado através de um sistema - Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) e inclui de um modo geral as seguintes etapas: captação (normalmente feita na cobertura de edifícios); filtragem; rejeição da primeira quantidade de água de escoamento em cada chuvada (*first-flush*); armazenamento da água da chuva em reservatório(s); distribuição para os diferentes locais de uso (utilização); descarga de excedentes (em eventos de pluviosidade intensa) e reforço da alimentação (por forma a compensar a falta de água em períodos com ausência de precipitação) (Roebuck, 2007).

Os SAAP podem apresentar três configurações diferentes e identificarem-se como: sistemas indiretos, sistemas diretos ou sistemas gravíticos. As Figs. 2.2 a 2.4 são exemplificativas destes tipos de sistemas.

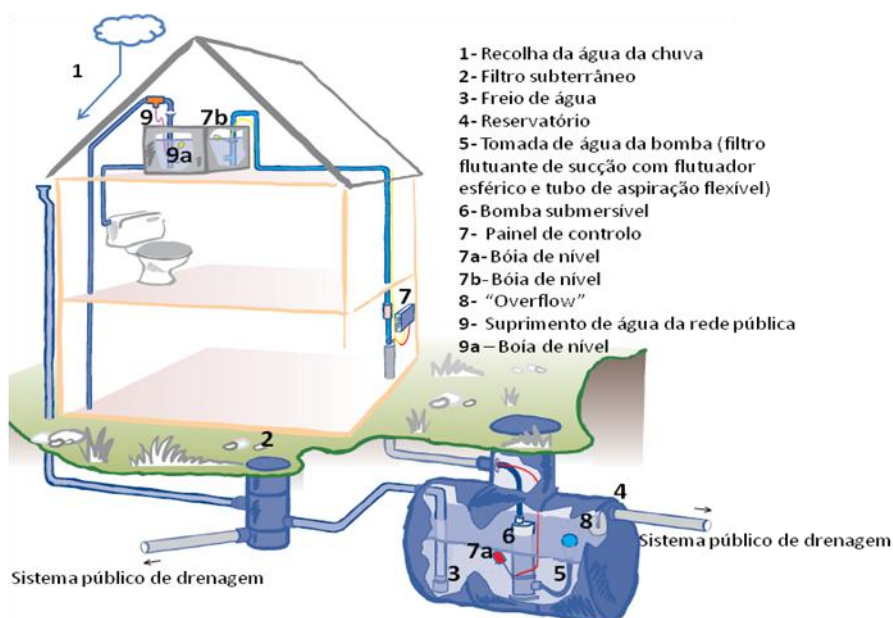


Fig. 2.2. Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais indireto (adaptado de Rainharvesting@ 2014).

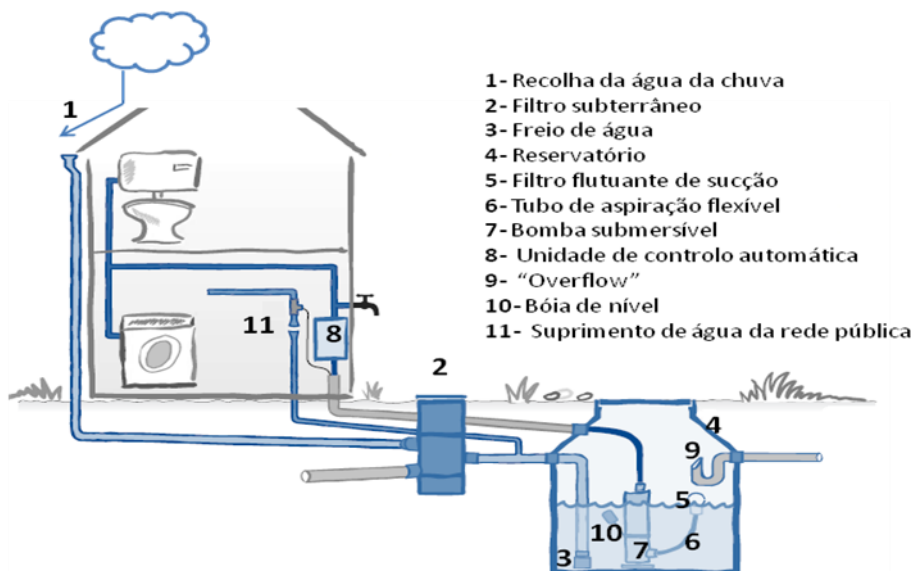


Fig. 2.3. Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais direto (adaptado de Rainharvesting@ 2014).

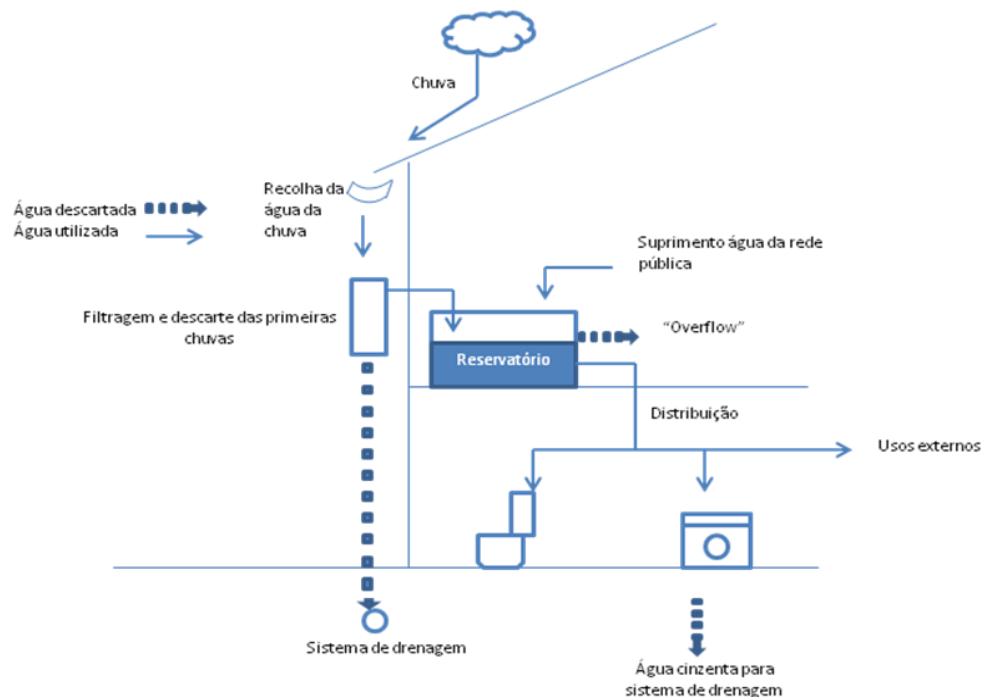


Fig. 2.4. Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais por gravidade (adaptado de Roebuck, 2007).

Até ao armazenamento da água da chuva num reservatório, o processo de recolha e condução da água é comum aos vários tipos de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. A chuva é recolhida por uma área de captação, transportada por uma rede coletora (usualmente caleiras e um ou mais tubos de queda) e tratada por um filtro, que permite a remoção de materiais sólidos presentes na superfície de captação como folhas, galhos e musgos. A existência de um dispositivo de desvio das primeiras chuvadas permite que a água que serviu para lavar a superfície de captação (mais poluída) seja descartada, para o sistema público de drenagem, e não entre no reservatório.

A entrada de água no reservatório de armazenamento é realizada com auxílio de um dispositivo que reduz a turbulência, “freio de água” (na literatura técnica brasileira), que induz sedimentação das partículas finas no fundo do reservatório e ao mesmo tempo permite a oxigenação da água armazenada, impedindo que ocorram processos anaeróbios. As partículas suspensas na água, como partículas de pólen, são removidas através de um descarregador de superfície. Este descarregador também permite, aquando da sobrecarga do sistema, expulsar o excesso de água (“overflow”) na rede pública de drenagem ou num sumidouro. Uma saída de água associada a uma válvula no fundo do reservatório permite esvaziar o reservatório (para a rede pública de drenagem) nas operações de limpeza ou manutenção (Godinho e Oliveira, 2009). A extração da água armazenada é feita logo abaixo da superfície de água (onde

apresenta melhor qualidade) através de uma captação flutuante que normalmente se encontra ligada a um filtro de finos (Godinho e Oliveira, 2009).

Nos sistemas indiretos (Fig. 2.2), a água contida no reservatório de armazenamento é bombeada para um tanque elevado (reservatório de distribuição) localizado no interior do edifício (geralmente por baixo do telhado). A água é fornecida, a partir deste tanque, por ação da gravidade e através de uma rede de distribuição completamente independente da rede de distribuição de água potável (Godinho e Oliveira, 2009; Roebuck, 2007). O sistema de bombagem é controlado a partir de um painel de controlo que recebe informação de uma bóia de nível no tanque elevado (deteção da demanda de água) e de uma bóia de nível no reservatório de armazenamento (Rainharvesting@, 2014). Em ausências prolongadas de precipitação e conseqüente falta de água no reservatório de armazenamento, o reservatório de distribuição é abastecido com água potável da rede de abastecimento público através de uma válvula accionada por uma terceira bóia de nível (Rainharvesting@, 2014). Estes sistemas apresentam a desvantagem da água poder ser fornecida a pressões baixas podendo interferir assim com o funcionamento de alguns aparelhos e retardar enchimento de autoclismos. Em contrapartida, têm a vantagem em caso de falha da bomba a água ser fornecida via rede pública de abastecimento (Roebuck, 2007).

Nos sistemas diretos ou sistemas pressurizados (Fig. 2.3), a água da chuva é armazenada num reservatório e bombeada diretamente para os pontos de consumo. De forma a assegurar o funcionamento durante todo o ano, é incorporado um painel de controlo no sistema que passará automaticamente para o serviço de suprimento em água da rede pública quando não existe água da chuva suficiente no reservatório. Esta alimentação pode ocorrer no reservatório de armazenamento com um nível mínimo capaz de atender a necessidade de água de curto prazo. Estes sistemas apresentam a vantagem da água ser fornecida com pressão necessária para os diferentes equipamentos domésticos operarem e de não requererem um reservatório elevado para distribuição da água, mas por outro lado em caso de falha da bomba a água não poderá ser fornecida (Roebuck, 2007).

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais a operar somente por gravidade (Fig. 2.4) diferem dos restantes sistemas na medida em que a água da chuva recolhida e filtrada é diretamente transportada para um reservatório de armazenamento e distribuída assim por gravidade para os diferentes pontos. O suprimento de água da rede pública é também garantido diretamente no reservatório em caso de falta de água da chuva e em casos de excedência qualquer entrada de água adicional será vazada por um sistema de descarga (“overflow”). Apresentam a vantagem de não necessitarem de uma bomba e energia elétrica, como é o caso dos sistemas diretos e indiretos, contudo, à semelhança dos sistemas indiretos apresentam a desvantagem de a água ser distribuída a baixas pressões resultando num mau

desempenho de alguns aparelhos nos pontos de consumo de água, sendo por vezes necessário a inclusão de uma bomba para aumentar a pressão da água no sistema. Torna-se imprescindível que todo o conjunto do sistema de aproveitamento de água da chuva funcione hidráulicamente (Roebuck, 2007).

2.2.2. Componentes de um SAAP

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais consistem num conjunto de componentes diferentes incluindo os componentes já integrantes do edifício. Em termos de melhoria da qualidade da água é recomendado o desvio das primeiras chuvas, através de dispositivos de “*first-flush*” (questão melhor abordada no sub-capítulo seguinte), a filtragem da água e a sua entrada no reservatório com auxílio a “freios de água”.

Dispositivos de “first-flush”

Na Fig. 2.5 está representado um esquema de um dispositivo automático simples de desvio das primeiras chuvas utilizado, que não depende de intervenção manual.

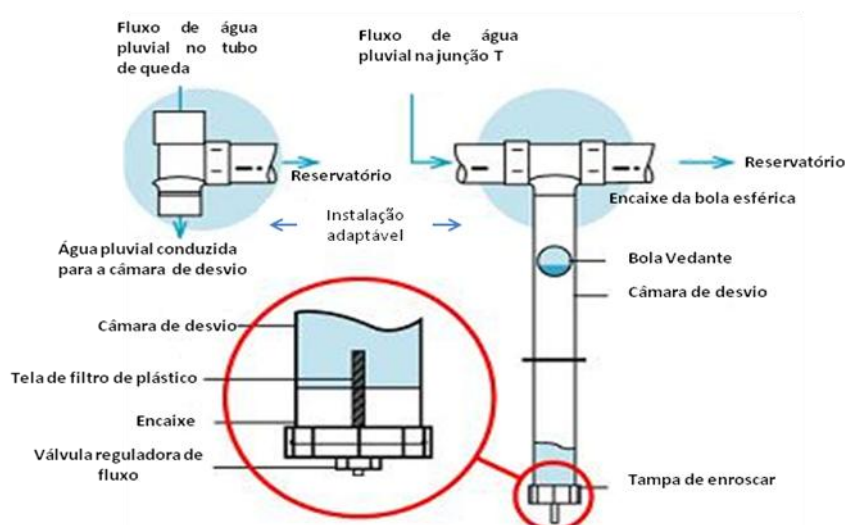


Fig. 2.5. Esquema exemplificativo de um dispositivo de “first-flush” (Rainharvest@ 2014).

Estes dispositivos ostentam uma bola esférica que flutua à medida que o nível de água na câmara de desvio se eleva. Quando a câmara se encontra cheia a bola assenta no encaixe selando a câmara e impedindo a entrada de mais água, garantindo que a água contaminada não irá ser armazenada no reservatório. O fluxo de água subsequente é assim conduzido para o reservatório ao longo da tubagem. Posteriormente, uma válvula reguladora de fluxo garante que a câmara se esvazia depois da chuvada ficando pronta para reiniciar todo o processo automaticamente (Rainharvest@ 2014).

Filtros

A filtragem da água da chuva pode ser realizada através da utilização de uma variedade de filtros. Estes não devem bloquear facilmente e devem ser de preferência de auto-limpeza, em que as impurezas são automaticamente lavadas a partir da malha do filtro, exigindo menos manutenção. O tamanho da malha recomendado varia normalmente entre 0,2 a 0,8 mm (ETA 0701, 2012). A Fig. 2.6 ilustra três tipos de filtros comumente instalados.

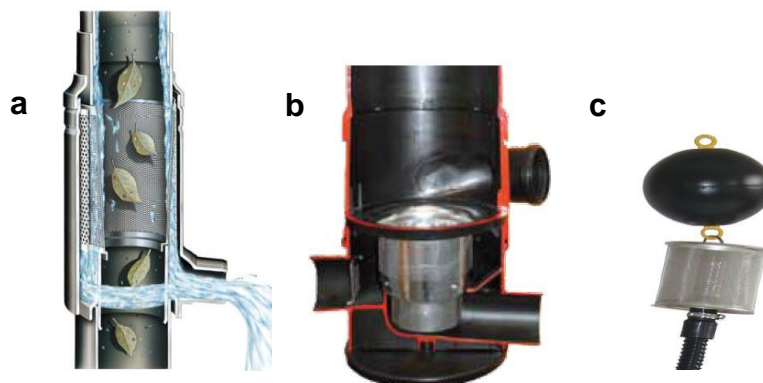


Fig. 2.6. (a) Filtro de descida (Rainharvest@, 2014); (b) Filtro vórtice (Aquastock, 2013); (c) Filtro flutuante (Ambietel@, 2011).

Os chamados filtros de descida (Fig. 2.6a), são os filtros instalados nos tubos de queda da rede de drenagem que aproveitam o facto de a água escoar nesta tubagem segundo uma lâmina anelar líquida ao longo da sua superfície (Godinho e Oliveira, 2009) e a sua implantação é mais adequada onde a água da chuva é armazenada em reservatórios acima do solo (Rainharvest@, 2014). Os filtros de vórtice (Fig. 2.6b) são o tipo de filtros geralmente instalados no subsolo e utilizam a dinâmica do fluxo de entrada para criar um efeito de vórtice e a água é forçada a atravessar a superfície da rede metálica que compõe o filtro, filtrando-se assim as impurezas e encaminhando-se a água para o reservatório de armazenamento (Godinho e Oliveira, 2009; Aquastock, 2013). Estes filtros e os filtros de descida captam 90% da água, sendo referenciados assim com um coeficiente de eficiência de 0,9 (Ambietel@ 2011). Outro tipo de filtro utilizado, com ação positiva na melhoria da qualidade da água captada, é o filtro flutuante instalado na tomada de água da bomba que eleva a água do reservatório de armazenamento, representado na Fig. 2.6c.

Reservatórios de armazenamento e unidades de controlo e monitorização

Os reservatórios de armazenamento da água da chuva existem numa variedade de formas e tamanhos e podem ser instalados subterrânea ou superficialmente. Os reservatórios de superfície são menos onerosos que os enterrados e de manutenção e instalação mais simples, no entanto apresentam a desvantagem de estarem expostos às intempéries meteorológicas. Por

outro lado, a instalação de reservatórios enterrados requer escavação e adequação do terreno envolvente para a sua implantação.

O reservatório de armazenamento da água da chuva é o componente mais caro de um SAAP e o seu preço varia de acordo com o tamanho e o material de que é constituído, daí a importância de um dimensionamento correto e também a adoção de um material que não propicie reações químicas com a água armazenada. Os reservatórios de armazenamento de águas pluviais podem ser constituídos por diversos materiais como betão, polietileno de alta densidade, fibra de vidro e aço, de acordo com o mercado existente em países onde a técnica de aproveitamento de águas pluviais está mais difundida.

Os reservatórios de polietileno são o tipo mais comum de reservatório encontrados à venda. Apresentam elevada resistência mecânica e insensibilidade à corrosão, são estanques, de fácil instalação e manutenção, resistentes a radiações ultra-violeta e mais baratos comparativamente a outros tipos de reservatórios, para além de que este material também não interfere com a qualidade da água armazenada (Ecodepur@ 2014). Um exemplo de reservatório de polietileno comercializado em Portugal pela empresa ECODEPUR® está ilustrado na Fig.2.7a.

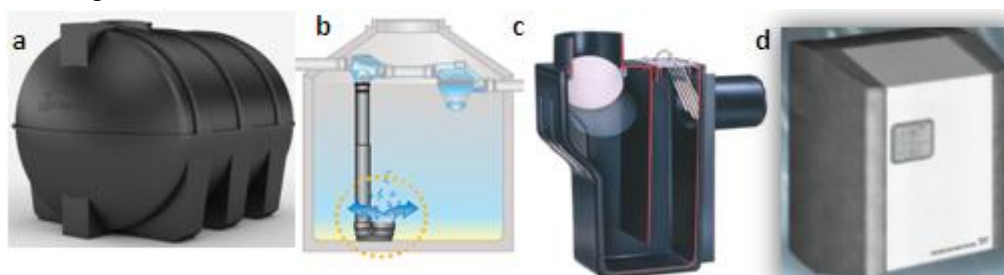


Fig. 2.7. (a) Reservatório ECODEPUR ® (Ecodepur@, 2014); (b) “Freio de água” (Ecoágua, 2011); (c) Sifão de transbordo (Ambietel@, 2011); (d) Sistema de recuperação da água da chuva RMQ da empresa Grundfos (Grundfos@, 2014).

Vários componentes do sistema estão intrínsecos ao reservatório de armazenamento da água da chuva. Na fase de entrada de água no reservatório é importante manter as condições aeróbias. Neste contexto, a utilização de um “freio de água” (Fig. 2.7b) é essencial.

A Fig.2.7c mostra exemplo de um dispositivo de “overflow”. Estes devem incluir dispositivos anti-refluxo, para impedir o retorno de água (“válvulas de prevenção de backflow”) e conter uma rede anti-mosquitos e roedores na tubagem (Roebuck, 2007).

A bombagem de água para os pontos de consumo geralmente é controlada por uma unidade de monitorização e controlo. Dado o desempenho global mais elevado dos sistemas de

aproveitamento de águas pluviais, existem no mercado sistemas de controlo ditos integrados, no qual a bombagem e o controlo estão integrados numa única unidade localizada no interior do edifício, como o exemplo do sistema disponível na empresa Grundfos, assegurando a completa separação entre água pluvial e água da rede pública, e constituído por um pequeno reservatório integrado de armazenamento da água pública, válvulas de 3 vias, bomba MQ Grundfos, painel de controlo e tanque de ar comprimido (Grundfos@, 2014) (Fig.2.7d).

2.3. Qualidade da água da chuva

A água é comumente apelidada “solvente universal” pois apresenta grande capacidade de dissolver diversas substâncias e partículas, as quais definem a sua qualidade. A quantidade e qualidade dos diversos componentes presentes na água determinam as suas características físicas, químicas e biológicas.

A água da chuva, em geral, é considerada de boa qualidade, devido ao processo de destilação natural pelo qual passa no ciclo hidrológico, ao condensar-se (Luna et al., 2014). Contudo, a sua composição está intrinsecamente ligada à composição atmosférica (Carvalho et al., 2014; Helmreich e Horn, 2009), variando, por sua vez, de acordo com as condições meteorológicas (e.g. vento, intensidade, duração e tipo de chuva), período seco antecedente, localização geográfica, estação do ano em que ocorre, e com as cargas poluentes emitidas por diversas atividades, industriais, agrícolas, entre outras (Chang et al., 2004; Lee et al., 2010; DeBusk e Hunt, 2012).

Influência dos padrões climáticos e condições meteorológicas

Menores quantidades da água da chuva, verificadas nas estações secas, resultam numa maior concentração química da água da chuva, porque a remoção de partículas por deposição húmida é mínima (Mouli et al., 2005; Piñeiro et al., 2014). Tal como, a existência de elevados fluxos de vento tende a aumentar a emissão de partículas a partir de fontes terrestres, conduzindo também à maior concentração da composição química da água da chuva (Mouli et al., 2005).

Influência da localização geográfica e das atividades antrópicas

A composição iónica da água da chuva está também ela muito dependente da localização geográfica. Em regiões próximas dos oceanos existe uma maior probabilidade de encontrar sódio, potássio, magnésio e cloro na água da chuva, uma vez que os aerossóis marinhos são uma significativa fonte de sais e iões para a atmosfera, tais como Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} (Santos, 2011). Já em localizações distantes da costa e com grandes áreas não pavimentadas poderão estar presentes na água da chuva elementos de origem terrestre como a sílica e o alumínio e o ferro (Piñeiro et al., 2014). O magnésio (Mg^{2+}) e o cálcio (Ca^{2+}) são

(também) produtos da erosão das rochas de montanha e as suas concentrações na água da chuva indicam a incorporação nas gotas da chuva de material do solo presente na atmosfera (Gikas e Tsihrintzis, 2012; Mouli et al., 2005; Piñeiro et al., 2014).

Além das fontes marinha e terrestre, as atividades antrópicas constituem uma fonte de emissão de substâncias químicas e partículas para atmosfera onde a água da chuva opera como agente de limpeza eficiente dos poluentes existentes. As regiões agrícolas podem apresentar o inconveniente da água da chuva carregar os aerossóis de agrotóxicos e pesticidas lançados nas plantações, quando existentes na atmosfera em altas concentrações (Neto, 2013). Contudo, é expectável que a água da chuva seja menos poluída em zonas rurais afastadas dos centros urbanos e não muito afetadas pelas emissões de poluentes oriundos das atividades industriais, comparativamente às zonas urbanas onde a qualidade do ar é marcada pela intensa poluição devido à indústria e ao tráfego rodoviário (Helmreich e Horn, 2009).

Em áreas industriais, onde existe maior concentração de partículas suspensas na atmosfera que são arrastadas com a precipitação, a água da chuva deverá apresentar maior turbidez e maior concentração de sólidos suspensos. Nas regiões densamente urbanizadas são encontrados na atmosfera compostos poluentes como os óxidos de enxofre e azoto, partículas, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, que são incorporados na água da chuva (Oliveira, 2009 citado por Santos, 2011).

A incorporação de óxidos de azoto e dióxido de enxofre (NO_x e SO_2) na precipitação, resultantes do tráfego automóvel e da queima de combustíveis fósseis, é particularmente importante, pois eles são precursores de ácidos principais como o H_2SO_4 e HNO_3 (Mouli et al., 2005). A água da chuva é naturalmente ácida devido à dissolução do gás CO_2 (presente naturalmente na atmosfera) e formação do ácido carbónico. Este ácido confere um pH da água da chuva de 5,6 (pH da água da chuva natural em equilíbrio com o CO_2 atmosférico). Valores de pH abaixo deste indicam assim que a água da chuva encontra-se poluída com estes ácidos fortes (H_2SO_4 e HNO_3) (Piñeiro et al., 2014).

Por outro lado, um pH da água da chuva alcalino é atribuído ao excesso de cationes dissolvidos associados às partículas de poeira do solo, como Ca^{2+} (cálcio), Mg^{2+} (magnésio) (responsáveis pela neutralização dos ácidos presentes na água da chuva); ou ainda devido à interferência de atividades industriais que libertem óxidos de materiais alcalinos (Mouli et al., 2005; Piñeiro et al., 2014; Santos et al., 2011b). Desta forma, valores elevados de pH da água da chuva sugerem pouca influência de fontes antropogénicas conforme relatado em Mouli et al., 2005.

Qualidade da água da chuva para utilização em diversos fins

A contaminação dos primeiros milímetros de chuva é mais elevada devido ao processo de “lavagem” do excesso de substâncias e partículas das camadas baixas da atmosfera. Com o decorrer do evento de precipitação a qualidade da água da chuva vai melhorando ao passo que os poluentes presentes na atmosfera se vão esgotando (Neto, 2013).

Carvalho et al. (2014) desenvolveu um amostrador sequencial de água da chuva baseado no volume que permitiu avaliar a variabilidade na composição física e química da água da chuva durante eventos individuais em Coimbra. Os resultados do estudo de quatro eventos mostraram que a composição da água da chuva variou ao longo do tempo e a análise a parâmetros como a condutividade elétrica e a turvação mostrou a ocorrência de níveis elevados no início da chuvada e o rápido declínio logo após o primeiro milímetro de chuva (Carvalho et al., 2014). Valores mais elevados de condutividade elétrica no primeiro milímetro da água da chuva num dos eventos foram explicados pelo maior período seco antecedente correspondente. Valores de pH das amostras recolhidas variaram entre 6,4 a 7,5 (pH superior ao da água da chuva natural). A variabilidade destes parâmetros e o rápido declínio dos seus níveis nos primeiros milímetros de cada evento de precipitação analisado é consistente com outros estudos (Melo, 2007; Annechini, 2005; Neto, 2013).

A água da chuva geralmente apresenta boa qualidade física e química para vários usos, pois a contaminação atmosférica, normalmente, não atinge proporções capazes de comprometer a sua qualidade (Neto, 2003); além de que como constatado após os primeiros milímetros de precipitação a qualidade melhora muito.

Fatores interferentes da qualidade da água da chuva captada em SAAP

Como se reconheceu, a água da chuva é geralmente considerada de boa qualidade e uma fonte alternativa de água, podendo assim ser utilizada para os mais diversos fins. Contudo, alguns estudos têm relatado a dissolução de nutrientes, sólidos, metais pesados e microrganismos patogénicos na água da chuva no processo de recolha e armazenamento da mesma em SAAP. Neste sentido, para além da importância da avaliação da qualidade da água chuva recolhida diretamente da atmosfera, torna-se também indispensável a avaliação da qualidade da água da chuva no seu processo de captação (após passagem pela superfície de recolha) e a qualidade da água da chuva armazenada no reservatório.

A qualidade físico-química e microbiológica da água da chuva pode ser alterada após o seu escoamento sobre as superfícies de recolha, pela incorporação de matéria orgânica, sólidos e inertes e microrganismos, devido à deposição seca de material orgânico, metais ou matéria fecal de aves e pequenos roedores nas coberturas dos edifícios, durante os períodos de seca

(Struck, 2011). A presença de líquenes e musgos na cobertura também se demonstrou influenciar a qualidade da água longo prazo em Lee et al. (2012).

Diversos fatores afetam a qualidade da água de escoamento da cobertura das edificações. Os principais estão relacionados com as características e a própria constituição da cobertura (tipo, idade, rugosidade, inclinação), as características da precipitação (e.g. intensidade, duração e duração do período seco antecedente), as variações sazonais, as condições meteorológicas (e.g. vento, temperatura), a poluição atmosférica e o ambiente circundante da cobertura (Forster, 1999 e Zhang et al., 2014).

Influência da superfície de captação

A maior ou menor contaminação da água da chuva na superfície de recolha pode ser dependente do tipo de cobertura e/ou ser originada pelos próprios materiais de cobertura (fonte de contaminação interna), onde a água da chuva pode reagir física e quimicamente com os materiais constituintes (superfícies metálicas, de madeira, de plástico, de cerâmica, etc.).

A inclinação da superfície de recolha também constitui um fator de interferência na qualidade da água, pois quanto menor esta for, menor é a velocidade de escoamento conduzindo a uma maior dissolução de contaminantes devido ao aumento do tempo de contacto com a superfície (Farreny et al., 2011 e Santos, 2011). O estudo de Farreny et al. (2011) centrou-se no fornecimento de critérios para a seleção de coberturas de modo a maximizar a disponibilidade e qualidade da água da chuva e concluiu que as coberturas planas de gravilha apresentaram níveis mais elevados de contaminação em contraste com coberturas inclinadas (revestidas de telhas cerâmicas, de plástico ou chapas metálicas); devido aos processos de deposição de partículas, desgaste do telhado e colonização de plantas.

Um estudo de Lee et al. (2012), na Coreia do Sul, analisou a adequação de quatro tipos de materiais de cobertura (telhado de madeira, de betão, de aço galvanizado e cerâmico) para recolha de água pluvial para uso doméstico, através da avaliação de parâmetros de qualidade da água físicos, químicos e biológicos. Os resultados deste estudo mostraram que o tipo de material da cobertura utilizado teve alguma influência sobre a qualidade da água da chuva recolhida (Lee et al., 2012). As concentrações de carbono orgânico total no telhado de madeira foram mais elevadas em relação aos outros materiais de cobertura devido ao desgaste do material que é em si composto de material orgânico (Lee et al., 2012). Também, as elevadas concentrações de ferro e zinco presentes nos dois primeiros milímetros de água recolhida na cobertura de aço galvanizado derivaram, segundo os autores, da própria composição do aço (composto de ferro e zinco) e da deposição atmosférica. O presente estudo concluiu que as coberturas de aço galvanizado e as coberturas revestidas com telhas cerâmicas

são mais adequadas para aplicações de recolha de água da chuva, após a descarga das primeiras quantidades de precipitação. É de salientar que, em Portugal as coberturas dos edifícios revestidas com telhas cerâmicas constituem um elemento tradicional na paisagem.

Resultados de estudo idêntico na China, também constataram uma influência do tipo de material de cobertura na qualidade da água recolhida e permitiram concluir que o telhado revestido de telhas cerâmicas demonstrou ser o mais adequado para aplicações de recolha de água, devido às baixas concentrações de poluentes lixiviáveis (Zhang et al., 2014). Neste estudo, os valores médios de pH significativamente mais elevados da água escoada pela cobertura de betão também demonstraram que a sua natureza alcalina teve interferência nas propriedades físicas da água.

As coberturas verdes têm vindo a ser progressivamente utilizadas em edifícios novos contribuindo para a melhoria da eficiência energética e para o amortecimento dos picos dos caudais resultantes da precipitação (Freitas et al., 2014). Contudo, em diversos estudos (Zhang et al., 2014 e Berndtsson et al., 2009), para efeitos de aproveitamento da água pluvial estas tem-se demonstrado como não adequadas, comparativamente a outras coberturas, pois atuam como uma fonte de iões devido à camada de substrato normalmente utilizada.

Influência das condições locais

Apesar dos diversos resultados de estudos constatarem a íntima relação da qualidade da água do escoamento dos telhados com o material da cobertura, outros estudos (Gikas e Tsihrintzis, 2012; Lee e Jones, 1982 citado em Lee et al., 2012) mostraram que os materiais de cobertura não apresentaram um impacto expressivo na qualidade dessa água. Gikas e Tsihrintzis (2012) monitorizaram, durante dois anos, a qualidade da água captada nos dispositivos de “first-flush” e reservatórios de seis sistemas de aproveitamento de água pluvial instalados em cinco casas urbanas, suburbanas e rurais, e um campus universitário, na Grécia. A avaliação das diferenças da qualidade da água da chuva recolhida nos diferentes edifícios sugeriu que as condições locais do sistema de recolha da água pluvial foi um fator mais importante para a qualidade da água em comparação com o material das coberturas. Os valores elevados de Na^+ e K^+ na água recolhida de três sistemas de aproveitamento da água da chuva, dois na zona rural e um na zona suburbana, foram atribuídos à acumulação de materiais de erosão nos telhados e devido a atividades de construção no local, respetivamente. Os iões nitrito, nitrato, amónia, fósforo e o parâmetro condutividade apresentaram valores mais elevados nas amostras de água recolhidas do dispositivo de “first-flush” e dos reservatórios de armazenamento nas áreas rurais em relação às áreas suburbanas e urbanas (Gikas e Tsihrintzis, 2012).

Em sistemas de aproveitamento da água da chuva a existência de matéria fecal, principalmente de aves, roedores e lagartos são a principal fonte de bactérias patogénicas (Gikas e Tsihrintzis, 2012). A avaliação da qualidade microbiológica da água engloba, geralmente, a contagem de indicadores microbiológicos como Coliformes totais, Coliformes fecais e Enterococos. Estes indicadores revelam a proveniência fecal dos microrganismos, mas também podem ser originários de plantas e pó (Lee et al., 2012).

Os agentes patogénicos bacterianos comumente analisados envolvem *Pseudomonas spp*, *Salmonella spp*, *Campylobacter spp*, *Legionella*, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*. Microrganismos, como os coliformes totais, coliformes fecais, *Salmonella spp*, *Giardia lamblia* foram detectadas em contagens elevadas na água de escoamento da superfície de recolha em estudos de Simmons et al., 2001 e Ahmed et al., 2010. Também foram detetados Coliformes totais em 84,4 a 95,8% das amostras da água da chuva recolhida em seis reservatórios de sistemas de aproveitamento de águas pluviais analisados em Gikas e Tsihrintzis, 2012.

Influência das condições meteorológicas na qualidade da água da chuva recolhida

Evans et al. (2007) relatou que a maior parte da contaminação microbiana em sistemas de captação de águas pluviais num loteamento urbano em Newcastle, Austrália, foi mais fortemente influenciada por microrganismos depositados pela velocidade e direção do vento local do que devido propriamente à presença de material fecal resultante da atividade animal na área de abrangência (Lye, 2009). Tal facto sugere que as condições meteorológicas presenciadas no local da captação da água da chuva também influenciam significativamente a qualidade da água da chuva recolhida.

As superfícies de recolha da água da chuva atingem normalmente temperaturas mais elevadas que outras superfícies, devido ao menor albedo e também geralmente ao menor efeito de sombreamento das árvores existentes no local. Estas temperaturas elevadas aumentam as taxas de reações químicas e decomposição orgânica de materiais presentes e acumulados nas coberturas dos edifícios (Chang et al., 2004). Contudo, por outro lado, julga-se que as temperaturas elevadas podem atuar positivamente na desinfeção eficaz da água recolhida contra agentes patogénicos em determinadas coberturas como as de aço galvanizado. No mesmo estudo de Lee et al. (2012), amostras de água de escoamento relativas à cobertura de aço galvanizado apresentaram ausência de bactérias patogénicas em contraste com a sua presença nos outros tipos de cobertura estudados, devido à concentração da luz ultravioleta e às elevadas temperaturas verificadas na cobertura.

Influência das características da precipitação e tendências sazonais

As características da precipitação e as tendências sazonais também se revelam como fatores interferentes na qualidade da água de escoamento superficial nas coberturas. O estudo de Zhang et al. (2014) demonstrou que os poluentes presentes na água de escoamento superficial do telhado na estação chuvosa foram menores do que na estação seca. E que o volume de chuva apresentou uma correlação negativa significativa com a maioria dos parâmetros da qualidade da água analisados. Farreny et al. (2011) também verificou que maiores volumes de precipitação correspondem a menores cargas de poluentes nas amostras, devido ao efeito de diluição durante uma tempestade. Sugere-se assim que as estações chuvosas são as mais adequadas para a recolha das águas pluviais.

O período seco que antecede um evento de precipitação é o tempo durante o qual os contaminantes acumulam-se na superfície de recolha da água da chuva (Zhang et al., 2014). Quanto mais longo for este período, maior é a deposição seca na cobertura e consequentemente maior a concentração de contaminantes que irá ser lavada pela primeira chuvada (Förster, 1999). No estudo de Zhang et al. (2014) comprovou-se a existência de uma correlação positiva e significativa entre o período seco antecedente e a maioria dos parâmetros de qualidade da água analisados (Zhang et al., 2014).

Os primeiros milímetros de cada chuvada merecem destaque e atenção pois estes períodos iniciais de água pluvial geralmente são suficientes para a “lavagem” dos gases atmosféricos e da superfície de captação (Neto, 2013). Muitos estudos permitiram constatar que a maior parte da matéria depositada na superfície de recolha é lavada no início de um evento de precipitação pelo escoamento inicial resultante, conduzindo assim a elevadas concentrações de contaminantes nos primeiros milímetros de escoamento (1-2 mm) (DeBusk e Hunt, 2012). Em geral, essa concentração de contaminantes na água escoada pela cobertura decresce exponencialmente ao longo do período de precipitação, como descrito por Forster (1999). Este padrão de escoamento superficial da cobertura com concentrações iniciais elevadas de contaminantes foi descrito como efeito de “first-flush” (Lye, 2009).

Muitos autores de estudos da qualidade da água da chuva recolhida reconhecem que o descarte de um volume inicial ou *first flush* da água da chuva, através da instalação de dispositivos de desvio desse volume, melhora significativamente a qualidade da água da chuva captada (Lee et al, 2010; Mendez et al., 2011; Helmreich e Horn, 2009; Lee et al., 2012; Despins et al., 2009).

De acordo com Lee et al. (2010) desviar as primeiras quantidades de escoamento pode retardar a acumulação de partículas e sedimentos dentro dos reservatórios de armazenamento.

No estudo de Lee et al. (2012) a qualidade da água escoada pelos quatro tipos de coberturas foi analisada no dispositivo de “first-flush”, com capacidade de desvio dos dois primeiros milímetros de chuva, e no reservatório de armazenamento da água da chuva. Os resultados permitiram concluir que a água recolhida de todos os quatro tipos de telhados tornou-se aceitável, para uso doméstico, após a primeira descarga (Lee et al., 2012). De salientar também que 100% das amostras de água (de todas as coberturas) provenientes do reservatório de armazenamento da água da chuva não continham *Enterococcus faecalis* nem bactérias patogénicas como *Pseudomonas spp.* e *Salmonella spp.*, após o descarte dos primeiros cinco litros de água recolhida.

Já na pesquisa de Gikas e Tsihrintzis (2012) o descarte dos primeiros 0,11 a 0,13 milímetros de chuva não se demonstrou suficiente para a redução da contaminação da água da chuva recolhida e armazenada no reservatório. Neto (2013) citou a avaliação do desempenho de um dispositivo automático concebido para desviar o primeiro milímetro de cada evento de precipitação num estudo de Carvalho et al. (2012). A avaliação indicou que o dispositivo foi responsável pela remoção de 94,2% dos coliformes totais. Fewtrell e Kay (2007) relataram um estudo australiano feito por Gardener et al. (2004), que concluiu que a rejeição do primeiro milímetro de escoamento reduziu a entrada de carga bacteriana no reservatório entre 9 e 62% para eventos de chuva individuais.

É intrínseca a recomendação da incorporação de um dispositivo de desvio das primeiras águas de escoamento nos sistemas de aproveitamento de águas pluviais, contudo a recomendação de valores e identificação do que constitui o volume de desvio varia muito e depende de vários fatores, como o número de dias antecedentes sem precipitação, a quantidade e o tipo de matéria presente na superfície de recolha, padrões climáticos, propriedades das superfícies da captação, entre outros (DeBusk e Hunt, 2012 e Lye, 2009). De acordo com Lye (2009), pesquisas sobre a quantificação e qualificação de volumes “first flush” sugerem que cada área de recolha da água da chuva tem características únicas que influenciam o volume de escoamento que contém níveis iniciais elevados de contaminação.

Qualidade da água da chuva recolhida para fins não potáveis

Os requisitos de qualidade estão diretamente relacionados com o uso da água. Todos os estudos analisados que examinaram a qualidade da água da chuva recolhida em sistemas de aproveitamento de águas pluviais demonstraram que em relação aos parâmetros físico-químicos, a água captada apresentou-se apropriada para usos potáveis, pois a sua qualidade atendia os padrões de potabilidade mundiais (Organização Mundial da Saúde) ou os estabelecidos pela união europeia (Diretiva 98/93/UE). Contudo, frequentemente, esses

padrões de qualidade não eram atendidos em relação aos parâmetros microbiológicos, sendo necessário tratamento local apropriado para ser utilizada como uma fonte de água potável.

Constata-se assim que no geral a água da chuva recolhida nos sistemas de aproveitamento de águas pluviais apresenta boa qualidade para ser utilizada em fins domésticos não potáveis, sem necessidade de tratamento.

A manutenção frequente dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais a par do desvio das primeiras quantidades de escoamento e a filtração a montante do reservatório contribui na melhoria substancial da qualidade da água armazenada, comprovada por muitos estudos (DeBusk e Hunt, 2012). Lye (2009) afirma que os riscos de contaminação da água de escoamento superficial nas coberturas parecem limitar-se aos sistemas de aproveitamento de águas pluviais que não têm bom design, materiais adequados e tratamentos ou desinfecções adequadas. Despins (2009) também refere que a qualidade da água da chuva pode ser elevada através da seleção da superfície de captação e materiais de armazenamento adequados.

2.4. Enquadramento legal

2.4.1. Aproveitamento das águas pluviais

A utilização eficiente da água é uma preocupação comunitária e nacional, assumindo grande importância no nosso País onde a variabilidade climática gera reiteradas situações de escassez hídrica (PNUEA, 2012).

Em 2000, foi estabelecido ao nível da União Europeia a Diretiva Quadro da Água (DQA) (Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000), que regulamenta a nível legislativo um quadro de gestão de recursos hídricos para todos os Estados-Membros. Neste estabelecimento, em 2001, é criado o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), instrumento de gestão imprescindível para a proteção dos recursos hídricos, com o objetivo de avaliar a eficiência dos usos da água em Portugal nos vários setores, urbano, industrial e agrícola, e deste modo apontar um conjunto de medidas por setor conducentes a uma melhor utilização deste recurso. Até 2005 desenvolveu-se um conjunto de documentação de apoio técnico à implementação do PNUEA que culminou na publicação da Resolução de Conselhos de Ministros nº 113/2005 (APA@, 2014).

Em 2012 foi implementado um novo PNUEA, assente em três princípios fundamentais a ser alcançados: eficiência hídrica, sustentabilidade e eficiência energética, sendo estabelecido um quadro de referência para o período de 2012-2020 com medidas, mecanismos de implementação e metas definidas. Num conjunto de 87 medidas específicas, metade são

destinadas ao setor urbano e aplicáveis na prevenção ou em situação de escassez. Um dos 7 objetivos específicos para o setor urbano é a redução ao mínimo do uso de água potável em atividades que possam ter o mesmo desempenho com águas de qualidade alternativa e de outras fontes que não a rede pública de água potável (APA@, 2014), remetendo assim para esta temática da utilização da água da chuva em fins não potáveis. O aproveitamento da água pluvial é preconizado na medida de reutilização ou uso de água de qualidade inferior – utilização da água usada nos sistemas prediais, para fins adequados (medida 8). Também é referido ao nível das medidas da utilização da água da chuva em jardins e similares (medida 38), em lagos e espelhos de água (medida 45) e em campos desportivos, campos de golfe e outros espaços verdes de recreio (medida 48).

Apesar das medidas enunciadas no PNUEA, atualmente ainda não existe legislação nacional que regule o aproveitamento de água pluvial para fins urbanos não potáveis, ao invés do que se verifica em países como o Brasil, com as normas NBR 15527:2007 e NBR 10844, Reino Unido (British Standard 8515:2009), Alemanha, Estados Unidos da América, Austrália, entre outros.

Em 2009, a Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais (ANQIP) desenvolveu as Especificações Técnicas ETA 0701 e ETA 0702 (últimas versões com validade até 2017), o que representou uma evolução em Portugal ao nível do enquadramento e normalização técnica na matéria do aproveitamento da água pluvial. A primeira estabelece prescrições técnicas relativas aos Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP) para outros fins que não o consumo humano e a segunda especificação é relativa ao sistema de certificação deste tipo de sistemas, visando a salvaguarda da saúde pública. Esta certificação exige a apreciação prévia do projeto pela ANQIP, a realização de vistorias à obra, a certificação dos instaladores e a existência de um contrato ou de um plano de manutenção (ETA 0701 e ETA 0702, 2012).

A ANQIP como entidade participante na consulta pública da versão provisória do PNUEA 2012-2020 prestou o seu contributo nesta matéria propondo que seja obrigatória a certificação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de águas cinzentas em edifícios; a QUERCUS – Associação Nacional de Conservação da Natureza por sua vez propôs a proibição de utilização de água potável do sistema público para lavagem de pavimentos e veículos, rega de jardins, campos desportivos, campos de golfe e outros espaços verdes, lagos e espelhos de água, em ambas as situações hídricas normais e de escassez; dado que estas medidas proibitivas estão apenas estendidas às situações hídricas de escassez. A DGC – Direção-Geral do Consumidor também contribuiu propondo a implementação de sistemas independentes de distribuição (potável e não potável) e a criação de normas obrigatórias para a recolha e armazenamento de águas pluviais em edifícios e urbanizações.

É de notar ainda, neste último âmbito, a publicação, em Fevereiro de 2011, da Resolução da Assembleia da República nº 10/2011 a qual recomenda ao Governo que tome iniciativa de prever a construção de redes secundárias de abastecimento de água com aproveitamento das águas pluviais, em edifícios, instalações e equipamentos públicos de grande dimensão, tendo em vista a sua utilização para usos e fins não potáveis, no sentido de se obterem ganhos ambientais, energéticos e económicos.

2.4.2. Qualidade da água

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais, através da filtração, da rejeição das primeiras quantidades de precipitação e da sedimentação no reservatório, proporcionam tratamentos básicos no que respeita à qualidade da água captada e armazenada. No geral, a água da chuva captada em sistemas devidamente concebidos e monitorizados e submetida aos processos de tratamento básicos representa baixo risco para a saúde pública quando usada para fins não potáveis (Roebuck, 2007 e Lye, 2009), sendo esse risco associado à exposição a microrganismos patogénicos derivados de contaminação fecal (Environment Agency UK, 2010), por ingestão ou pulverização da água.

Segundo a ETA 0701, a água da chuva utilizada para os fins não potáveis como a rega de zonas verdes, lavagem de pavimentos e descargas de autoclismos, observadas as prescrições técnicas de instalação dos SAAP, pode não carecer de qualquer tratamento adicional (ETA 0701, 2012). Contudo, a mesma recomenda que para estas utilizações a água respeite, no mínimo, as normas de qualidade aplicáveis a águas balneares, tendo-se assim em conta a regulamentação nacional aplicável, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 236/98, de 1/8, que revoga o Decreto-Lei n.º 74/90, e define os requisitos a observar na utilização das águas superficiais para diversos fins, de entre os quais águas para consumo humano, águas de rega e águas balneares.

Existindo suspeita ou deteção de contaminação microbiológica, deve prever-se uma desinfecção da água com tratamento adequado (ETA 0701, 2012), sobretudo quando existe o potencial para uma maior exposição humana. Neste âmbito, a desinfecção com radiação ultravioleta pode apresentar-se como uma boa opção. A ETA 0701 recomenda ainda que seja colocado um aviso aconselhando o fechamento do tampo antes da descarga, evitando assim exposição humana, ainda que indireta, à água.

Tendo em conta a referida regulamentação nacional e as prescrições da ETA 0701, apresentam-se como parâmetros microbiológicos de referência para avaliação da qualidade da água os Coliformes totais, Coliformes fecais, Enterococos fecais, Salmonelas e Enterovírus.

Apreende-se, pela análise da literatura científica, que em todo o mundo ainda existe falta de diretrizes locais comuns e ao mesmo tempo uma falta de clareza em relação aos padrões de qualidade microbiológica da água da chuva utilizada para fins não potáveis, em contraste com o reconhecimento dos padrões físico-químicos da qualidade da água que atingiram concordância quase universal em todo o mundo (Lye, 2009).

O Quadro 2.1 apresenta os valores limiares para três parâmetros microbiológicos a monitorizar nos SAAP, Coliformes totais, Coliformes fecais, Enterococos fecais, segundo algumas diretrizes aplicáveis à qualidade da água da chuva reutilizada.

Quadro 2.1. Exemplos de critérios microbiológicos de qualidade da água da chuva para fins não potáveis

Diretrizes	Coliformes totais		Coliformes fecais		Enterococos fecais	
	UFC ⁽¹⁾ /100mL		UFC/100mL		UFC/100mL	
Portugal ^a	500 ⁽²⁾	10000 ⁽³⁾	100 ⁽²⁾	2000 ⁽³⁾	100 ⁽²⁾	–
Berkeley, EUA ^b	500 ⁽⁴⁾⁽⁵⁾		100 ⁽⁴⁾⁽⁵⁾		–	
Los Angeles, EUA ^c	2000 ⁽⁴⁾		400 ⁽⁴⁾		104 ⁽⁴⁾	
Reino Unido ^d	10 ⁽⁴⁾	1000 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁴⁾	250 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁴⁾	100 ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Unidades Formadoras de Colónias (UFC)

⁽²⁾ Valor Máximo Recomendável (VMR)

⁽³⁾ Valor Máximo Admissível (VMA)

⁽⁴⁾ Relativo ao uso de irrigação por aspersão

⁽⁵⁾ Relativo ao uso em descargas de autoclismo e rega de jardins

^a DL 236/98 (1998)

^b City of Berkeley (2010)

^c Los Angeles County (2011)

^d Environment Agency UK (2010)

A cidade de Berkeley, nos Estados Unidos da América (EUA), estabeleceu documentação que fornece diretrizes, normas e procedimentos para a recolha e posterior utilização da água da chuva (City of Berkeley, 2010) em que nela se enquadra as diretrizes de qualidade mínima de reutilização da água da chuva e respetivas opções de tratamento para a água. Á semelhança desta, Los Angeles (EUA) e o Reino Unido também estabeleceram valores de referência para monitorização microbiológica da água da chuva captada para uso local.

Como se verifica os padrões de qualidade microbiológica variam não só de um país para outro como varia em locais diferentes no mesmo país, como é o caso dos EUA. Os valores apresentados variam em alguns casos consoante o tipo de utilização da água da chuva e de acordo com o nível de exposição humana. Os critérios de qualidade exigidos em fins como a irrigação por aspersão são mais restritos, por exemplo, no Reino Unido, pelo facto de a exposição humana nestes casos não ser tão negligenciável comparativamente aos usos como autoclismos e irrigação superficial de jardins.

3. MATERIAIS E MÉTODOS: CASO DE ESTUDO

No presente capítulo é descrito o conjunto de procedimentos, métodos e equipamentos utilizados para o estudo exploratório do potencial de aproveitamento da água da chuva em fins não potáveis, para o caso de estudo descrito na secção 3.1.

3.1. Caso de estudo

O estudo do potencial de utilização de águas pluviais para fins não potáveis tomou como caso de estudo um setor do Departamento de Engenharia Civil, estabelecimento de ensino da FCTUC (Pólo II). Foi selecionada uma zona de estudo na cobertura do edifício, adjacente ao Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (L.H.R.H.A.), com vista ao estudo de aproveitamento da água da chuva para fins de descargas de autoclismos nos sanitários existentes no L.H.R.H.A. A superfície de captação da água da chuva selecionada (superfície alvo do presente estudo), com $25,22 \text{ m}^2$, é apresentada na Fig. 3.1.



Fig. 3.1. Zona de estudo, próxima ao L.H.R.H.A, com identificação da área de captação da água da chuva.

3.1.1. Regime pluviométrico

O conhecimento do regime pluviométrico no local de estudo é indispensável para que se conclua acerca do potencial de captação da água da chuva, que determina o dimensionamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais. Coimbra apresenta um clima mediterrânico, com verões secos e quentes. A Fig. 3.2 apresenta graficamente a variação da precipitação anual e respetiva precipitação média anual em Coimbra, relativa ao período de 1941 a 2012 (72 anos). A análise foi efetuada com base em séries de precipitação diária cedidas pelo IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera), respeitantes à estação de monitorização do Instituto Geofísico de Coimbra.

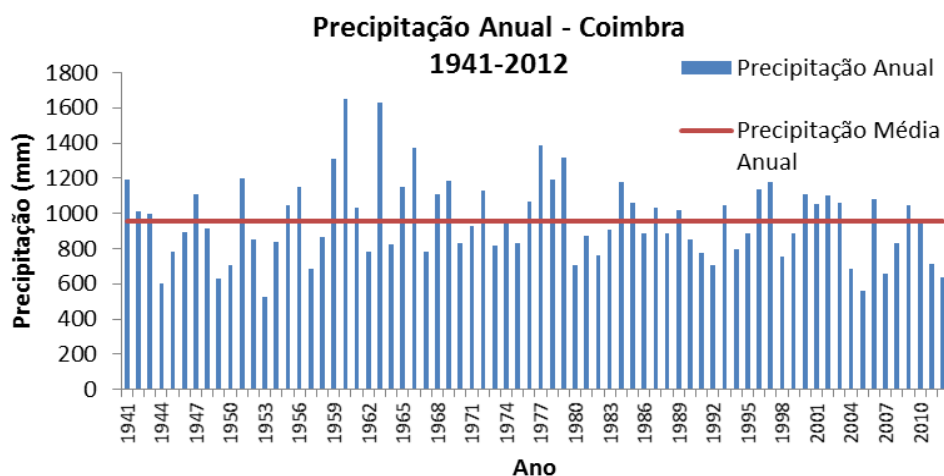


Fig. 3.2. Precipitação anual e precipitação média anual em Coimbra no período de 1941 a 2012.

No período referido, a precipitação média anual em Coimbra foi 959,5 mm e a precipitação anual mínima e máxima registada foi de, respetivamente, 524,2 mm e 1651,4 mm (Fig. 3.2).

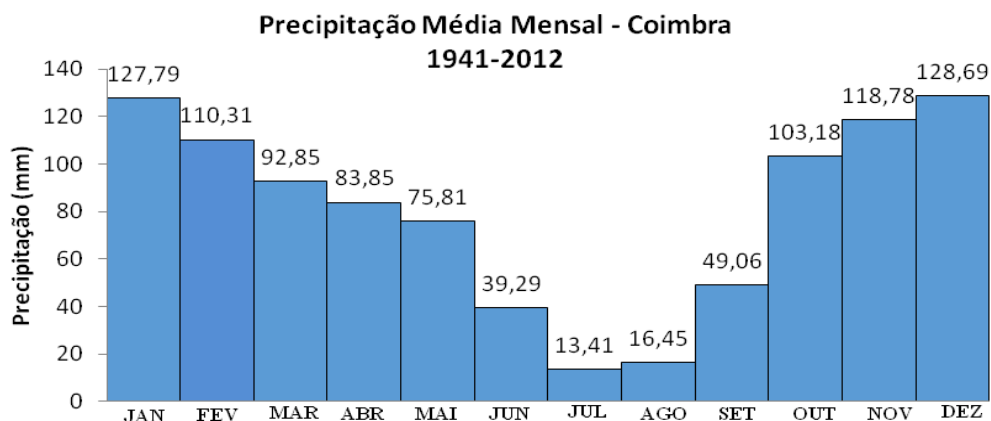


Fig. 3.3. Precipitação média mensal em Coimbra no período de 1941 a 2012.

A precipitação média mensal em Coimbra (1941 a 2012) é apresentada na Fig. 3.3. Verifica-se que as estações de Outono e Inverno concentram as maiores quantidades de precipitação, sendo os meses de Janeiro e Dezembro os que apresentam maiores valores de precipitação média mensal. Os meses de Verão, Junho, Julho e Agosto, são secos, sendo Julho o mês mais seco, com a precipitação média mensal de 13,41 mm, menos de um nono da precipitação do mês de Dezembro, mês mais chuvoso.

No âmbito deste estudo, fez-se também a análise temporal do número máximo de dias secos consecutivos que é um dos 27 índices climáticos de extremos, adotados pela WMO (World Meteorological Organization). É calculado pelo número máximo de dias consecutivos com precipitação inferior a 1 mm, num determinado período de análise (Climdex®, 2014). A Fig. 3.4 apresenta a variação anual, no período de 1941 a 2012, deste índice, onde se verifica que a média (μ) do índice ronda os 43 dias. O desvio padrão (σ), 13,1, é indicativo da dispersão dos dados por uma gama de valores. O máximo registado, no período em análise, foi 81 dias no ano de 2010 e o mínimo registado de 21 dias.

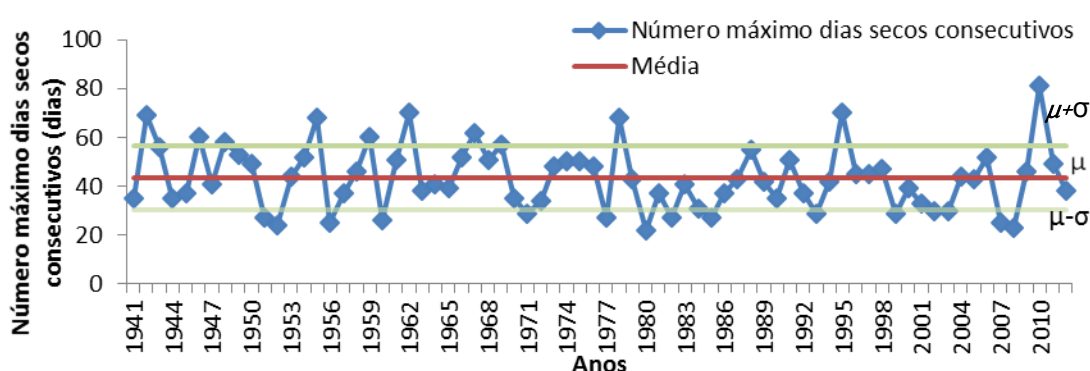


Fig. 3.4. Número máximo de dias secos consecutivos no período de 1941 a 2012 em Coimbra.

Os valores deste índice no período de 1941 a 1994 foram obtidos através da página de internet oficial www.climdex.org, que apresenta um conjunto de dados para o cálculo dos índices climáticos de extremos referentes às diversas estações meteorológicas em todo o mundo. Os restantes valores (1995 a 2012) foram obtidos por análise das séries diárias de precipitação cedidas pelo IPMA, em que se contabilizou, em cada ano, o maior número de dias consecutivos em que a precipitação diária era inferior a 1 mm.

3.1.2. Cobertura

Um dos principais fatores que influenciam o aproveitamento de água pluvial é a superfície de recolha, pelo que se procedeu à sua caracterização no presente caso de estudo. A cobertura do Departamento de Engenharia Civil é plana, revestida por uma camada de gravilha colocada em cima de uma camada de geotêxtil agulhado, seguindo-se uma camada de roofmate (poliestireno extrudido) com espessura de 0,04 m, uma segunda camada de geotêxtil e a tela impermeabilizante, conforme representado na Fig. 3.5a. Na drenagem da cobertura, a água da chuva escoar para os tubos de queda (internos no edifício), situados a meio da cobertura e protegidos por ralos de pinha (Fig. 3.5b), sendo encaminhada posteriormente para a rede geral de drenagem.

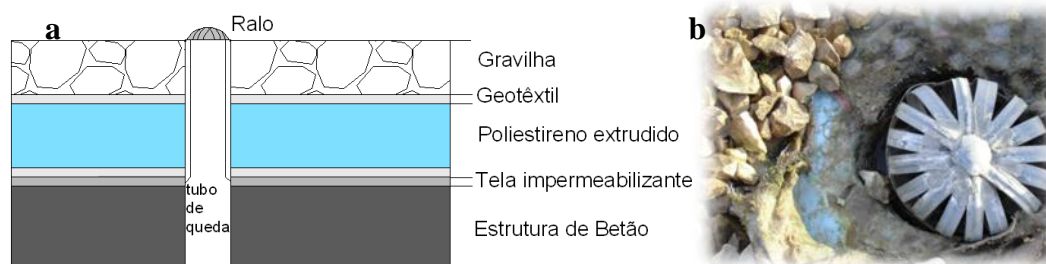


Fig. 3.5. (a) Esquema da cobertura do DEC; (b) Parte da cobertura e ralo de pinha do tubo de queda.

3.2. Caraterização da qualidade da água da chuva

No presente estudo pretendeu-se efetuar uma avaliação da qualidade da água da chuva recolhida diretamente da atmosfera, ou seja, antes de qualquer contacto com a superfície da cobertura. Esta avaliação foi feita para um evento de precipitação selecionado, através da recolha de amostras da água da chuva e teve por base a medição e análise de diversos parâmetros de qualidade da água.

3.2.1. Recolha de amostras

A análise da variação da qualidade da água da chuva ao longo de um evento de precipitação é possível através da recolha de amostras sequenciais da água da chuva. Essa recolha de amostras foi efetuada através da utilização de um amostrador sequencial de água da chuva (Fig. 3.6a), equipamento desenvolvido no L.H.R.H.A. e apresentado em Carvalho et al. (2014). O equipamento é constituído por um anel de bordos afilados com um funil, de aço inoxidável, com uma área de recolha de $0,1 \text{ m}^2$; uma caleira de acrílico ligado ao funil por uma mangueira flexível e 11 frascos de amostragem individuais a ele conectados (Fig. 3.6b), permitem a captação e armazenamento sequencial da água da chuva até um máximo de 10 mm. Os dois primeiros frascos de 50 mL de amostra permitem a recolha do primeiro milímetro de chuva e análise de eventuais variações fortes na composição da água da chuva no início do evento (Carvalho et al., 2014). Os seguintes frascos com capacidade de 100 mL permitem a recolha dos restantes 9 mm.

Cada frasco contém pequenas esferas de vidro para ajustar o volume de água recolhido e é vedado, uma vez cheio, por uma esfera de poliestireno, impedindo assim a entrada de água da chuva adicional e mistura de água entre as amostras individuais (Fig. 3.6c). Os frascos são enchidos sequencialmente por gravidade. A Fig. 3.7 apresenta o esquema hidráulico exemplificativo do equipamento.



Fig. 3.6. (a) Amostrador sequencial da água da chuva; (b) Pormenor da caleira com os frascos de amostragem; (c) Pormenor de um frasco de amostragem.

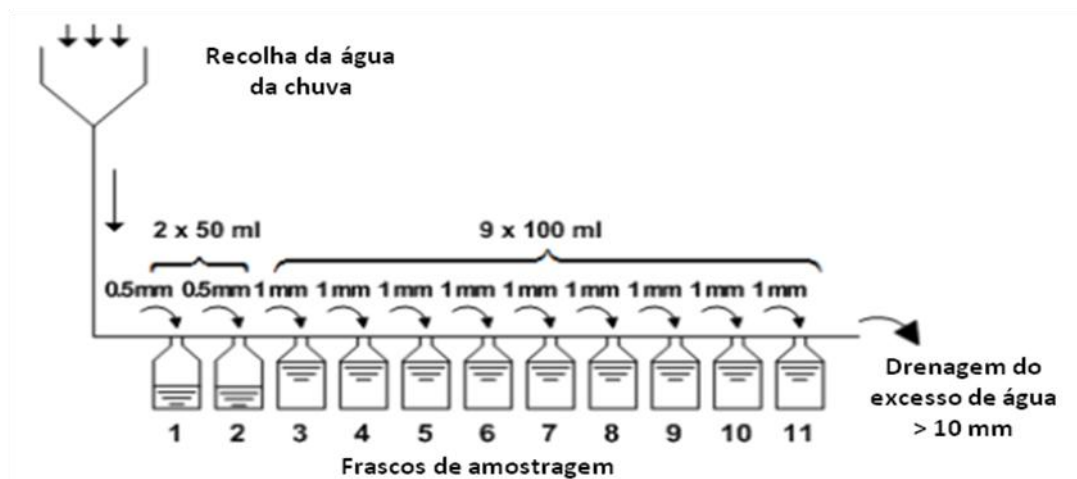


Fig. 3.7. Esquema hidráulico do amostrador sequencial da água da chuva (adaptado de Carvalho et al., 2014).

Previamente à recolha das amostras, o equipamento foi lavado com água destilada e instalado no local de estudo, na cobertura plana do DEC; o suporte ajustável manteve o funil a uma altura de cerca de 1,90 m da cobertura, como ilustra a Fig. 3.6a.

Procedeu-se à captação dos 10 primeiros milímetros de um evento de precipitação ocorrido no dia 13 de Outubro de 2014, recolhendo-se assim 11 amostras de água da chuva.

3.2.2. Parâmetros de qualidade da água analisados e equipamentos

A avaliação da qualidade da água é baseada na medição de parâmetros de natureza diversa. Para a caracterização da qualidade da água da chuva foram selecionados e analisados os parâmetros apresentados no Quadro 3.1 (parâmetros de qualidade da água para consumo humano, de acordo com o anexo VI do Decreto-Lei nº236/98), tendo-se em atenção os valores regulamentares máximos recomendáveis (VMR) e máximos admissíveis (VMA).

Quadro 3.1. Parâmetros de qualidade da água analisados para a água da chuva.

Parâmetros		
Organoléticos	Físico-químicos	Relativos a substâncias indesejáveis
Turvação	Temperatura pH Condutividade Cloretos (Cl ⁻) Sulfatos (SO ₄ ²⁻) Cálcio (Ca ²⁺) Magnésio (Mg ²⁺) Sódio (Na ⁺) Potássio (K ⁺)	Nitratos (NO ₃ ⁻) Amónio (NH ₄ ⁺)

A medição dos parâmetros turvação, pH, temperatura e condutividade elétrica foi realizada com os seguintes equipamentos portáteis: medidor da turvação “HI93125”, medidor pH e temperatura “HI8314” e medidor multi-gama de condutividade elétrica “HI8033” (Anexo A), fabricados pela Hanna Instruments. Estes parâmetros foram medidos no local imediatamente após a recolha de amostras, aquando do término do evento de precipitação. Seguidamente, as amostras foram congeladas e posteriormente transportadas numa mala térmica com placas acumuladoras térmicas congeladas e protegidas da exposição direta da luz solar, para medição dos restantes parâmetros por cromatografia iónica no IMAR- Instituto do Mar, através de um cromatógrafo iónico (C.I) (DX-120 DIONEX).

3.3. Instalação experimental na cobertura

Com vista à quantificação da água escoada pela superfície de captação, decorrente de cada evento de precipitação, procedeu-se à conceção e colocação de uma instalação experimental na cobertura do edifício do DEC/FCTUC. A instalação experimental foi construída no L.H.R.H.A. e para além de permitir de uma forma indireta avaliar as perdas iniciais ocorridas no processo de transformação da precipitação em escoamento no local de estudo, permite

também a recolha de amostras da água de escoamento superficial para caracterização da sua qualidade.

A Fig. 3.8 apresenta, à esquerda, o local selecionado para a instalação experimental onde se evidencia o tubo de drenagem da área de cobertura estudada e que foi aproveitado para fazer a coleta da água pluvial captada na área de recolha (25,22 m²); à direita apresenta-se uma fotografia da instalação experimental. No Anexo B, a mesma, encontra-se representada em três dimensões.

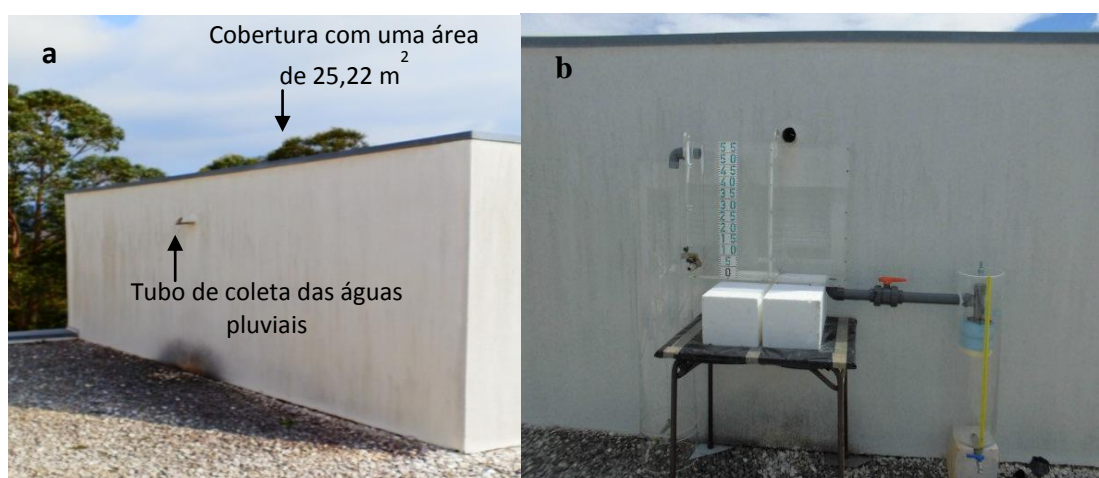


Fig. 3.8. (a) Local selecionado para a instalação experimental; (b) Instalação experimental.

A instalação consiste essencialmente num conjunto de três reservatórios, a jusante do tubo de queda, que recebem a água drenada da cobertura. A existência dos vários reservatórios destina-se a fazer o estudo da qualidade da água drenada, nomeadamente numa primeira fase do escoamento, no sentido de avaliar a necessidade de rejeição das primeiras águas drenadas.

A Fig. 3.9 apresenta o esquema hidráulico da instalação e no Quadro 3.2 são apresentadas as características gerais dos reservatórios.

A água escoada decorrente do evento de precipitação é recebida pelo reservatório retangular com ligação a um reservatório cilíndrico (reservatório 1) preparado para recolher e armazenar os primeiros milímetros de chuva captada (até um máximo de 0,8 mm). Este reservatório contém um sistema com três placas circulares de poliestireno extrudido (com um diâmetro de 0,15 m e espessuras de 0,06 m e 0,03 m) e uma esponja de borracha, que flutuam à medida que o reservatório enche. Quando cheio, o sistema de flutuadores veda a tubagem de entrada de água (ver Fig. A.2., no Anexo A), passando a recolha da água escoada a processar-se no reservatório retangular - reservatório 2 - (com capacidade de armazenamento dos 3,3 mm seguintes).

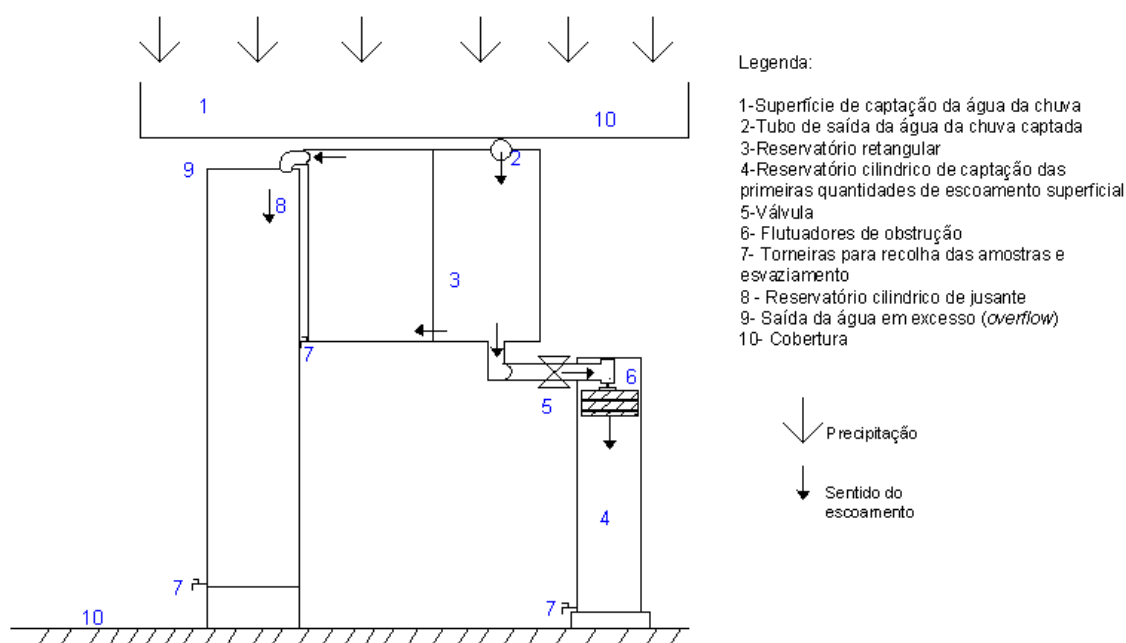


Fig. 3.9. Esquema hidráulico da instalação experimental.

Quadro 3.2. Características gerais dos reservatórios.

Reservatório	Função	Material	Formato	Dimensões	Capacidade
1	Captação da primeira quantidade de água escoada da cobertura (0,8 mm)	Acrílico	Cilíndrico	0,10; 0,79 ⁽¹⁾	19,7 L
2	Captação da água escoada após enchimento do reservatório 1 (3,3 mm)	Acrílico	Retangular	0,73;0,60;0,21 ⁽²⁾	82,5 L
3	Captação da água escoada após enchimento do reservatório 2 (3,3 mm)	Acrílico	Cilíndrico	0,15;1,3 ⁽¹⁾	83,9 L

(1) Raio (m); Altura (m)

(2) Comprimento (m); Altura (m); Largura (m)

O formato da instalação e o sistema de flutuadores de obstrução referido foram assim concebidos no sentido de permitir a recolha seletiva das primeiras quantidades de água escoada, minimizando-se o contacto/mistura entre essa primeira quantidade e as seguintes, armazenadas no reservatório retangular (reservatório 2). Quando este se encontra totalmente cheio, a água passa a ser armazenada num terceiro reservatório, também ele cilíndrico e com capacidade de armazenamento de seguintes 3,3 mm de água escoada.

Cada reservatório contém junto à sua base uma torneira que permite a recolha das amostras de água. A instalação, colocada no exterior, foi coberta e protegida com um plástico para evitar entradas indevidas de água. Foram colocadas réguas de medição nos reservatórios, para medir as alturas de água e consequentemente registar a quantidade de escoamento originado em cada evento de precipitação.

3.3.1. Udómetros e determinação do coeficiente de escoamento superficial

Na avaliação da quantidade de água da chuva que é aproveitada importa referir que nem toda a água precipitada numa superfície de captação é coletada devido a perdas iniciais que ocorrem no processo de transformação da precipitação em escoamento. Assim, é necessário efetuar a determinação da precipitação útil que é a parte da precipitação que se transforma em escoamento superficial. Estas perdas são devidas a processos como a evaporação e a vários fatores como a inclinação, o tipo de material, a porosidade e o estado de conservação da superfície de recolha da água da chuva, a intensidade da precipitação e as condições antecedentes de humidade (Roebuck, 2007).

Importa assim estabelecer a relação entre a quantidade total de água escoada na secção em estudo e a quantidade total de água precipitada na área drenada, para averiguação do potencial de aproveitamento de água da chuva no presente estudo. Esta relação é avaliada pelo coeficiente de escoamento (relação volumétrica entre a precipitação útil e a precipitação total). Ao longo do período de desenvolvimento do trabalho experimental relativo a esta dissertação, procedeu-se à monitorização da quantidade de água escoada da área da cobertura em estudo por observação direta dos volumes recolhidos no conjunto dos reservatórios da instalação experimental descrita anteriormente, em todos os eventos de precipitação passíveis de acompanhamento.

Para a quantificação dos eventos de precipitação ocorridos no local de estudo durante o mesmo período procedeu-se à instalação de três udómetros na cobertura do edifício, a uma distância em linha reta de cerca de 2 m da zona em estudo e a uma altura de cerca de 1,90 m (aproximadamente à mesma altura da superfície de captação) (Fig. 3.10a).

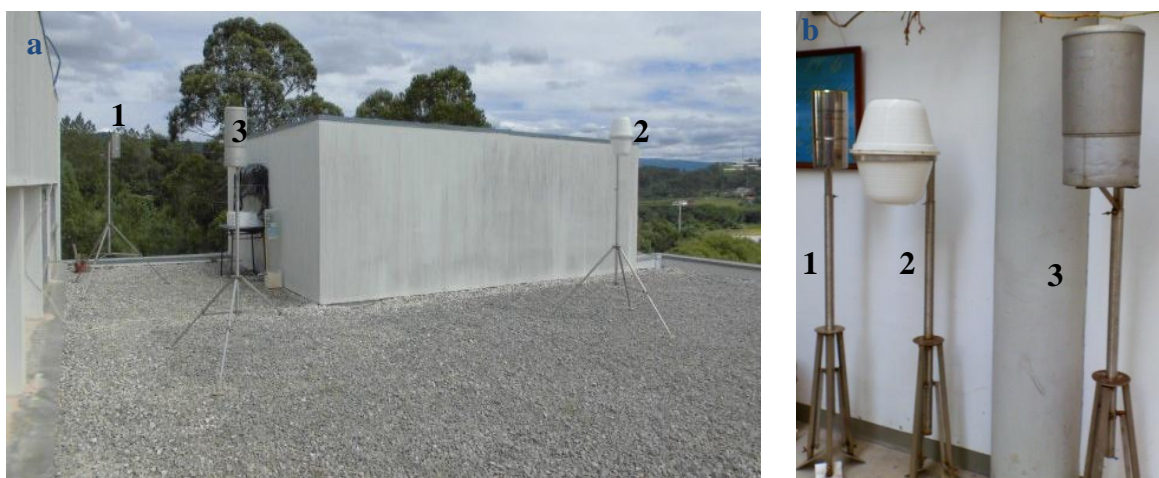


Fig. 3.10. (a) Localização dos udómetros na cobertura do edifício do DEC, junto à instalação experimental; (b) udómetros utilizados.

Foram utilizados dois udómetros convencionais, “Hellman” (udómetro 1, com uma área de captação de $0,0095 \text{ m}^2$) e “Wilh & Lambrecht” (udómetro 3, com uma área de captação de $0,0201 \text{ m}^2$) e um udómetro de baixo custo, “RUC” (“Rain-gauge University of Coimbra”), desenvolvido no DEC e apresentado em de Lima et al. (2010) (udómetro 2, com uma área de captação de $0,0176 \text{ m}^2$). (Fig. 3.10b).

Para cada evento de precipitação-escoamento acompanhado no âmbito deste trabalho, após o registo da quantidade de precipitação e respetivo volume escoado pela cobertura, estimou-se o coeficiente de escoamento, pela razão volumétrica entre a quantidade escoada e quantidade precipitada.

Foram obtidos os coeficientes de escoamento correspondentes a todos os eventos de precipitação ocorridos nos meses de Junho, Julho, Setembro, Outubro e meados de Novembro do ano 2014. Obteve-se também o coeficiente médio mensal relativo aos eventos de precipitação ocorridos em cada mês de observações.

3.3.2. Caraterização da qualidade da água de escoamento superficial

Para além da análise quantitativa da água da chuva recolhida no local de estudo efetuou-se também a análise qualitativa da água da chuva captada, com vista à análise da viabilidade da utilização da mesma para os fins não potáveis estudados, e averiguação da quantidade de água escoada a descartar no processo de captação no início do evento. No presente caso de estudo procedeu-se a uma análise da qualidade físico-química e bacteriológica da água recolhida após o contacto com a cobertura do edifício.

3.3.2.1. Análise físico-química

Para a avaliação qualitativa da água escoada pela cobertura foram recolhidas e posteriormente selecionadas amostras respeitantes a 6 eventos de precipitação ocorridos entre Julho a Novembro. A recolha e a seleção das amostras teve como principal preceito a duração do período seco antecedente, ou seja, o período que antecede o evento selecionado sem precipitação ou com precipitação insuficiente para gerar escoamento. Pretendeu-se obter informação qualitativa da água da chuva tendo em conta a maior duração deste período, pois maior é a acumulação de partículas / contaminantes na cobertura. O período seco antecedente variou, nos 6 eventos de precipitação selecionados, entre 8,33h a 14 dias.

As amostras relativas aos primeiros milímetros de escoamento foram recolhidas através do esvaziamento do reservatório 1. Toda a água armazenada no mesmo foi transferida para uma bacia de plástico (previamente limpa), onde se procedeu à homogeneização da água e posteriormente à recolha da amostra, obedecendo-se a todos os cuidados de assepsia e evitando-se contaminações pelo ar. As amostras relativas às restantes quantidades de escoamento foram recolhidas diretamente dos reservatórios 2 e 3, após homogeneização da água e a pelo menos 20 cm abaixo da superfície da água. As amostras foram posteriormente armazenadas e devidamente identificadas em tubos de eppendorf de 1,5 mL, para posterior análise. Entre cada evento, para impedir a influência de resíduos de anteriores chuvadas, procedeu-se à lavagem dos reservatórios com água destilada.

A avaliação da qualidade da água de escoamento superficial teve por base a medição dos mesmos parâmetros de referência apresentados no Quadro 3.1 (parâmetros de qualidade da água para consumo humano, de acordo com o anexo VI do Decreto-Lei nº236/98), incluindo também a medição do fosfato (PO_4^{3-}).

À semelhança dos procedimentos efetuados para a avaliação da qualidade da água da chuva (subcapítulo 3.2), os parâmetros turvação, pH, temperatura e condutividade elétrica foram medidos no local com os mesmos instrumentos apresentados na secção 3.2.2 e no anexo A e os restantes parâmetros foram medidos através do cromatógrafo iónico DX-120 DIONEX.

A avaliação da qualidade da água de escoamento superficial respeitante às amostras recolhidas em cada um dos reservatórios foi efetuada tendo em conta os valores paramétricos estabelecidos no anexo VI do Decreto-Lei nº236/98, para cada parâmetro analisado. Pretendeu-se efetuar também uma análise comparativa entre a qualidade da água da chuva relativa ao evento de precipitação analisado e a qualidade da água de escoamento superficial.

Para a caracterização detalhada dos eventos de precipitação selecionados para recolha das amostras (nomeadamente volumes e duração dos eventos de precipitação) recorreu-se aos

dados pluviométricos medidos através de um disdrómetro laser do fabricante Thies Clima (medidor de precipitação a laser), com resolução de 1 minuto, instalado no mesmo local.

3.3.2.2. Análise microbiológica

A contaminação da água também pode ser de origem biológica, através de microorganismos presentes nos resíduos fecais, provenientes do metabolismo dos animais homeotérmicos. A recomendação da consideração dos requisitos de qualidade aplicáveis a águas balneares para utilização da água da chuva para fins não potáveis engloba principalmente a análise a parâmetros de qualidade microbiológicos. Assim, efetuou-se, no presente estudo, a uma análise microbiológica de uma amostra de água de escoamento superficial, com vista à avaliação da qualidade da água da chuva captada.

Recolha de amostra

Procedeu-se à recolha de uma amostra dos primeiros 0,8 mm (22,2 L) da água de escoamento da cobertura relativo a um evento de precipitação ocorrido entre os dias 8 e 9 de Outubro de 2014. A recolha da amostra de água foi realizada com um frasco esterilizado de vidro incolor e transparente (capacidade de 1L) e obedeceu aos cuidados de assepsia, tendo-se o cuidado de não contaminar o gargalo do frasco. A quantidade de água armazenada no reservatório 1 foi descarregada para uma bacia, previamente lavada com água destilada, e agitada para promover a mistura da água captada. Recolheu-se 950 mL de água a analisar, mergulhando-se o frasco na massa de água com a boca virada para baixo e a cerca de 20 cm abaixo da superfície da água. Teve-se o cuidado de deixar um espaço vazio no interior do recipiente para facilitar a agitação da água antes da análise. Imediatamente após a recolha, a amostra foi refrigerada a 4°C e posteriormente transportada para análise numa mala térmica com placas acumuladoras térmicas congeladas e protegida da exposição direta da luz solar. Teve-se em consideração o período de tempo decorrido entre a recolha da amostra e a realização da análise não excedendo o prazo máximo de 24 horas.

Parâmetros microbiológicos analisados e procedimento de análise

No presente estudo foram analisados os parâmetros microbiológicos apresentados no Quadro 3.3.

Quadro 3.3. Parâmetros microbiológicos analisados da água de escoamento superficial.

Parâmetros microbiológicos
Coliformes totais
Coliformes fecais
Enterococos fecais
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>

Os coliformes totais, coliformes fecais e os enterococos fecais são microorganismos indicadores microbiológicos da contaminação fecal da água, ou seja, indicadores do potencial de existência de bactérias patogénicas. Uma vez que juntamente com estas bactérias patogénicas são também libertados inúmeros microorganismos não patogénicos presentes nos materiais fecais, estes indicam se a água em questão foi contaminada ou não, sendo assim os indicadores utilizados para monitorização da qualidade microbiológica das águas. São parâmetros de referência para análise microbiológica da água para efeitos balneares, conforme anexo XV do DL nº 236/98.

A bactéria *Pseudomonas aeruginosa*, por sua vez, sendo uma bactéria patogénica, é pesquisada de forma direta. É uma bactéria aeróbia existente em solos mas com capacidade de crescer em ambientes mais adversos, com baixas temperaturas e poucos nutrientes. Apresenta a particularidade, ao contrário dos restantes microorganismos analisados, de crescer em água. É uma bactéria oportunista, pelo que raramente causa doenças em indivíduos com sistema imunitário saudável; contudo o perigo para a saúde pública encontra-se relacionado com a provocação de aerossóis da água contaminada por estes microorganismos. Este parâmetro não é de referência para análise da qualidade da água para efeitos balneares, mas é interessante a sua pesquisa dadas as suas características e dada a importância do risco para saúde pública associado à formação de aerossóis.

A deteção e enumeração destes microorganismos foi realizada segundo métodos analíticos de referência de acordo com o DL 236/98 (bactérias Coliformes e *Escherichia coli* segundo norma ISO 9308-1, Enterococos segundo norma ISO 7899-2 e *Pseudomonas aeruginosa* segundo norma EN ISO 12780).

O método utilizado foi o da filtração por membrana, cultura em meio apropriado e identificação de bactérias capazes de formar colónias. O método consiste na filtração de um volume conhecido de amostra através de um filtro (membrana estéril) de 0,45 µm, que retém os microorganismos na sua superfície. A filtração, seguida da homogeneização da amostra, foi efetuada numa rampa de filtração e seguidamente a membrana foi colocada num meio sólido seletivo, efetivo para cada microorganismo a detetar, e levada a incubar a temperatura adequada ao desenvolvimento dos microorganismos em questão. Por fim, efetuou-se a contagem das colónias (UFC) que se apresentassem com a cor identificativa no meio de cultura. Durante o procedimento todas as condições de assepsia do local foram mantidas.

O Quadro 3.4 resume para cada parâmetro os principais fatores tidos em conta no procedimento de análise microbiológica da amostra de água e identificação de colónias.

Quadro 3.4. Quadro resumo dos fatores intervenientes na análise microbiológica e identificação de colónias para cada parâmetro.

Parâmetros	Volume de água utilizado	Meio de cultura	Temperatura e duração de incubação	Cor das colónias
Coliformes totais	10 mL	LSA	37°C/24h	Vermelho
Coliformes fecais	10 mL		44,5°C/24h	Amarelo
Enterococos fecais	100 mL	Slanetz e Bartley	37°C/48h	Vermelho escuro
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	100 mL	Ágar cetrimide	37°C/24h	Azul-esverdeado

Tendo em conta a legislação referida, a expressão dos resultados (número de colónias) e os valores paramétricos são apresentados por cada 100 mL de amostra utilizado. A deteção e enumeração dos coliformes totais e coliformes fecais baseou-se na filtração, em duplicado, de um volume de 10 mL da amostra, para que a contagem do número de colónias fosse mais facilitada, tendo sido posteriormente os resultados expressos em unidades formadores de colónias por 100 mL de amostra de água.

Os coliformes totais são capazes de formar colónias a 37°C, com produção de ácido e gás, num meio seletivo com lactose e os coliformes fecais fermentam a lactose, com produção de ácido e gás, a 44,5°C (são bactérias capazes de se reproduzir a temperaturas superiores a 40°C em menos de 24 horas). Nos coliformes fecais inclui-se a bactéria *Escherichia coli*. Assim, a inoculação dos coliformes totais e coliformes fecais foi realizada no meio de agar lauril sulfato (LSA) (colocação do filtro sobre a caixa de petri com o meio de cultura utilizando-se pinças estéreis), adequado para o efeito, e a temperatura de incubação foi de 37°C e 44,5°C, respetivamente, durante 24 horas. Contaram-se as colónias típicas de *Escherichia coli* que apresentavam a cor amarela com centro laranja.

Os enterococos fecais são bactérias fermentadoras da glucose com produção de ácido a 37°C, num tempo máximo de 48 horas, pelo que o meio de cultura sólido utilizado foi o Slanetz e Bartley e a temperatura e duração de incubação de 37°C durante 48 horas. Por fim, foi pesquisada a existência de colónias de enterococos fecais que apresentassem cor vermelho-escura.

A deteção e enumeração de *Pseudomonas aeruginosa* baseou-se na filtração por membrana, em duplicado, de um volume de 100 mL de amostra, tendo-se seguido a inoculação em meio ágar cetrimide e incubação a 37°C durante 24 horas. Procedeu-se à contagem das colónias que apresentavam cor azul-esverdeada como sendo *Pseudomonas aeruginosa*.

Todos os meios de cultura utilizados na respetiva análise microbiológica da amostra já tinham sido pré- preparados. A avaliação da qualidade bacteriológica da água recolhida foi realizada de acordo com os limites paramétricos existentes na legislação relativa à qualidade das águas balneares, segundo anexo XV do Decreto-Lei nº236/98.

3.4. Dimensionamento do reservatório

O reservatório de armazenamento das águas pluviais é um dos componentes mais importantes de um sistema de aproveitamento de águas pluviais. Por ser geralmente o elemento mais oneroso do sistema e um dos fatores que mais influencia o potencial de poupança de água potável, por meio do aproveitamento da água pluvial, é importante o seu adequado dimensionamento.

Neste sentido, a determinação do volume do reservatório de armazenamento de águas pluviais no presente estudo requereu uma avaliação dos principais parâmetros que afetam a eficiência de um SAAP, como o regime pluviométrico local, a área de captação, o consumo diário de água potável no edifício e, por conseguinte, a necessidade de água pluvial para uso não potável e o coeficiente de escoamento superficial.

Vários métodos são utilizados e recomendados em normas ou documentos técnicos em países como a Alemanha (DIN 1989-1:2001-10), Inglaterra (BS 8515:2009), Brasil (NBR 15527:2007) e Portugal (ETA 0701, 2012) para o dimensionamento dos reservatórios. Neles se destacam métodos simplificados, tendo em conta as precipitações médias anuais e consumos anuais estimados de água, constantes ou pouco variáveis ao longo do ano; e métodos mais complexos, aplicáveis quando a evolução dos consumos de água nos edifícios não é uniforme ao longo do tempo e quando se pretende otimizar o volume dos reservatórios. Neste contexto, os últimos métodos são geralmente os mais utilizados, pois conduzem a uma análise mais precisa e realista, dado que têm em consideração as variações do regime pluviométrico do local onde o sistema irá ser implementado e os consumos de água estimados ao longo do tempo. Os métodos detalhados para o dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de águas pluviais baseiam-se em simulações diárias do funcionamento destes sistemas, tendo-se em conta dados diários de precipitação e consumo de água não potável nas edificações.

3.4.1. Programa de cálculo- Netuno 4.0

A determinação do volume ideal do reservatório para o presente caso de estudo foi realizada recorrendo a um software denominado Netuno (versão 4), desenvolvido no LabEEE

(Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil) por Ghisi e Cordova (2014).

O software permite estimar o potencial de poupança de água potável, por meio do aproveitamento da água da chuva, e o volume do reservatório a adotar tendo em conta esse potencial. Os dados de entrada no programa Netuno incluem:

- (a) Série histórica diária de precipitação (mm);
- (b) Indicação da quantidade de precipitação inicial a ser descartada (mm);
- (c) Área de captação das águas pluviais (m²);
- (d) Consumo per capita total de água (consumo fixo ou variável de água potável) (l/hab/dia);
- (e) Número de utilizadores (fixos ou variáveis) (hab);
- (f) Percentagem de água potável a ser substituída por água pluvial (percentagem da necessidade total de água a ser suprida por água pluvial) (%);
- (g) Coeficiente de escoamento superficial (C);
- (h) Opção de existência ou não de reservatório superior, com necessidade de especificação da sua capacidade e volume abaixo do qual há bombeamento de água do reservatório inferior para o superior, em caso de existência (ver configuração do SAAP apresentado na Fig 2.2 – secção 2.2);
- (i) Opção de indicação de reservatório inferior com volume conhecido (volume definido pelo utilizador) ou reservatório não definido, para simulação para reservatórios com diversos volumes (sendo necessária a indicação de um volume máximo e o intervalo entre volumes).

Como dados de saída (resultados da simulação), o programa permite o conhecimento do potencial de economia de água potável em função dos diversos volumes do reservatório inferior, com indicação do volume ideal do reservatório (em visualização gráfica); ou ainda o conhecimento do potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório definido pelo utilizador.

Para o presente caso de estudo, considerou-se a existência de apenas um reservatório (reservatório inferior, segundo a terminologia do software). O método aplicado na simulação de sistemas com reservatório inferior apresenta-se na secção 3.4.2, bem como os pressupostos inerentes à definição do reservatório ideal. O algoritmo utilizado na simulação de sistemas com reservatórios inferior e superior apresenta algumas diferenças em relação ao caso anterior, nomeadamente a consideração de bombeamento da água do reservatório inferior para um superior.

O programa também permite o conhecimento dos seguintes valores médios para o período de análise: média mensal do volume consumido de água pluvial, do volume consumido de água potável e do volume extravasado de água pluvial (em litros); percentagem dos dias em que a necessidade em água pluvial é atendida totalmente, parcialmente ou não é atendida e o valor médio diário de bombeamento de água, caso haja um reservatório superior.

Para entrada no processo de cálculo, recorreu-se às séries históricas diárias de precipitação em Coimbra (estação de monitorização do Instituto Geofísico) cedidas pelo IPMA. Considerou-se períodos temporais não inferiores a 10 anos (ETA 0701, 2012), realizando-se simulações para vários cenários por variação da entrada de séries de precipitação diária, relativas a períodos temporais de 10 anos mais chuvosos e mais secos e séries de precipitação dos últimos 30 anos, dentre o período de 1941 a 2012. A área de captação considerada corresponde à área de estudo de 25,22 m². Os consumos de água relativos aos sanitários do L.H.R.H.A bem como o número de utilizadores foram averiguados e encontram-se descritos na secção 3.4.3. No que respeita à percentagem do consumo total de água a ser substituído por água pluvial considerou-se 100%.

3.4.2. Método detalhado

Nesta secção é apresentado o método utilizado na simulação do sistema de aproveitamento de águas pluviais (base do algoritmo do programa Netuno), com vista à avaliação do potencial de poupança de água potável e determinação do volume ideal do reservatório para o presente caso de estudo.

Inicialmente é obtido o volume de água pluvial que escoa pela superfície de captação num dado dia, obtido através da equação 1.

$$V_{ap}^i = P_i \times A \times C \quad (1)$$

onde,

V_{ap}^i é o volume de água que escoa pela superfície de captação num dado dia i (litros);

P_i é a precipitação no dia i (mm);

A é a área de captação da água da chuva (m²);

C é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

O volume disponível no reservatório após a captação de água pluvial, antes do consumo, é dado pela equação 2.

$$V_{inf,in}^i = \min\{V_{inf}; V_{inf,fin}^{i-1} + V_{ap}^i\} \quad (2)$$

onde,

$V_{inf,in}^i$ é o volume disponível no reservatório no início do dia (litros);

V_{inf} é o volume total do reservatório (litros);

$V_{inf, fim}^{i-1}$ é o volume disponível no reservatório no final do dia anterior (litros);
 V_{ap}^i é o volume de água que escoa pela superfície de captação no dia i (litros).

O volume de água pluvial consumido num dia corresponderá ao mínimo dos valores respeitantes à necessidade de água pluvial nesse mesmo dia ou ao volume disponível no reservatório após a captação de água pluvial (equação 3).

$$V_c^i = \min\{D_{pluv}^i; V_{inf, in}^i\} \quad (3)$$

onde,

V_c^i é o volume de água pluvial consumido no dia i (litros);
 D_{pluv}^i é a necessidade de água pluvial no dia i (litros);
 $V_{inf, in}^i$ é o volume disponível no reservatório no início do dia (litros).

A necessidade diária de água pluvial (D_{pluv}) é obtida através da consideração de um valor percentual da necessidade total de água que poderá ser suprido por água pluvial (equação 4), definido pelo utilizador do programa e geralmente a partir de estudos sobre os usos finais de água nos edifícios.

$$D_{pluv} = a \times D_{tot} \times n \quad (4)$$

em que,

a é a percentagem de água potável a ser substituída por água pluvial (0 a 1);

D_{tot} é a necessidade total de água, per capita, no edifício (litros/hab/dia);

n é o número de utilizadores (hab).

Depois de suprido o consumo de água pluvial (parcial ou totalmente), o volume de água pluvial que fica disponível no reservatório é dado através da equação 5.

$$V_{inf, fim}^i = \min\{V_{inf, in}^i - V_c^i; V_{inf} - V_c^i\} \quad (5)$$

$V_{inf, fim}^i$ é o volume de água pluvial disponível no reservatório ao final do dia (litros);

$V_{inf, in}^i$ é o volume disponível no reservatório no início do dia (litros);

V_c^i é o volume de água pluvial consumido no dia i (litros);

V_{inf} é o volume total do reservatório (litros).

Finalmente, o potencial de poupança de água potável conseguido através do aproveitamento da água pluvial é determinado a partir da equação 6.

$$E_{pot} = 100 \times \sum_{i=1}^N \frac{V_c^i}{D_{tot}^i} \quad (6)$$

em que:

E_{pot} é o potencial de poupança de água potável por meio do aproveitamento da água pluvial ou eficiência do sistema a poupar água potável (em %);

V_c^i é o volume de água pluvial consumido no dia i (litros);

D_{tot}^i é a demanda total de água no dia i (litros).

Todas as equações acima referidas são calculadas para todos os dados de precipitação disponibilizados como dados de entrada. A determinação do volume ideal do reservatório de armazenamento é realizada de forma iterativa (incrementando-se sucessivamente o volume do reservatório), calculando-se o potencial de poupança de água potável para cada volume experimentado. O intervalo de volumes adotado foi de 1000 L e o volume ideal do reservatório é o que, num aumento de 1000L, resulta num acréscimo do potencial de economia de água potável inferior a 1%. Este critério (diferença entre potenciais de poupança de água, %/m³) foi selecionado com base em estudos anteriores (Ghisi et al., 2012).

3.4.3. Consumos de água

As quantidades de água totais para satisfazer os consumos domésticos num edifício dependem do número de habitantes do mesmo e do respetivo consumo unitário, tal como das respetivas evoluções no tempo. Os consumos respeitantes a estabelecimentos de ensino devem ser avaliados em separado, em relação aos outros tipos de consumo, de acordo com as suas características.

Para avaliação dos consumos de água potável relativos às descargas de autoclismos nos sanitários existentes no L.H.R.H.A realizaram-se questionários (Anexo C) para os utilizadores, nomeadamente docentes, funcionários e alunos de mestrado e doutoramento afetos ao L.H.R.H.A (21 pessoas). Para a obtenção de informação mais precisa acerca do número total de descargas de autoclismos efetuadas procedeu-se, também, em conjunto com o questionário, à introdução, em cada sanitário masculino e feminino, de um quadro de registo de utilização dos mesmos. Todos os utilizadores que colaboraram registaram cada descarga efetuada com uma cruz no respetivo quadro ao longo de um período de 7 semanas (29 de Setembro a 14 de Novembro).

3.5. Avaliação da poupança anual em água potável

A averiguação da poupança anual em água potável, que se obteria com a instalação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais com a eficiência determinada, foi estabelecida tendo em conta a diferença entre os gastos atuais em água potável e os gastos em água potável com a sua instalação. As equações 7 e 8 representam esses custos, respetivamente.

$$C_{\text{água, inicial}}^i = \text{CMD} \times D \times c_{\text{água}} + T_{\text{RS}} \quad (7)$$

$$C_{\text{água, final}}^i = (1 - E) \times \text{CMD} \times D \times c_{\text{água}} + T_{\text{RS}} \quad (8)$$

onde o $C_{\text{água, inicial}}^i$ e $C_{\text{água, final}}^i$ são respetivamente, o custo atual de água relativo à utilização dos sanitários no L.H.R.H.A e o custo de água com a instalação de um sistema de aproveitamento da água da chuva, em cada mês (€/mês); CMD é o consumo médio diário de água no edifício (m^3/d); D é o número de dias de consumo de água em cada mês; E representa a eficiência do sistema de aproveitamento de águas pluviais (0 a 1), $c_{\text{água}}$ é o preço da água praticado pela entidade distribuidora (€/m³) e T_{RS} é a taxa praticada pela mesma, relativa aos encargos com resíduos sólidos urbanos.

A poupança anual em água potável, PAA, é assim obtida através da equação 9, resultante do somatório dos custos iniciais em cada mês i subtraídos aos custos finais nesse mês.

$$PAA = \sum_{i=1}^{12} (C_{\text{água, inicial}}^i - C_{\text{água, final}}^i) \quad (9)$$

O preço da água praticado pela entidade distribuidora, Águas de Coimbra, é 4,73 €/m³ e a taxa de resíduos, fixa, aplicável, é de 158,4 €/mês, por contentor, ou seja, 316,8 €/mês pelos dois contentores afetos ao edifício.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo apresentam-se os resultados do estudo exploratório do potencial de aproveitamento da água da chuva no Departamento de Engenharia Civil, bem como todas as considerações relativas aos mesmos. Esse potencial foi avaliado aproveitando a configuração da cobertura do edifício o que permitiu selecionar uma pequena área de captação e construir uma instalação experimental para melhor análise do processo precipitação-escoamento e avaliação da qualidade da água para armazenamento.

4.1. Qualidade da água da chuva

A qualidade físico-química da água da chuva e a sua variação ao longo dos primeiros 10 mm do evento de precipitação analisado, registado a 13/10/2014, foi avaliada e os resultados encontram-se apresentados no Anexo D (Quadro D.1) e na Fig. 4.1.

O pH variou, ao longo do evento, entre 6,41 a 6,95, apresentando um valor médio de 6,72 ($\pm 0,2$). Verifica-se que no início da chuvada o pH é mais ácido, devido às impurezas presentes na atmosfera, tendendo a tornar-se neutro com o decorrer do evento. Consta-se também valores mais elevados da turvação e condutividade elétrica no início do evento e um acentuado declínio após o primeiro milímetro de chuva, comprovando-se que este período inicial de precipitação é responsável e suficiente para a “lavagem” dos gases atmosféricos e pela incorporação da matéria particulada na água da chuva. Esta evidência também é relatada em vários estudos e foi identificada em Carvalho et al. (2014), no mesmo local do presente estudo.

As concentrações de nitrato (NO_3^-) nas amostras da água da chuva variaram entre 0,06 e 0,15 mg/L e também decresceram no decorrer da chuvada. Por outro lado, a concentração de sódio (Na^+) tende a crescer ao longo do evento e as concentrações do catião potássio (K^+) e do anião cloreto (Cl^-) apresentaram flutuações durante o evento de precipitação, sem qualquer tendência aparente. Dos parâmetros de qualidade da água analisados não foram detetadas concentrações dos iões cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sulfato (SO_4^{2-}), amónia (NH_4^+) nas amostras da água da chuva recolhidas.

Em termos médios, a água da chuva apresenta boa qualidade, para ser utilizada nos mais diversos fins não potáveis, de acordo com os limites paramétricos estabelecidos pelo anexo VI do DL n° 236/98, pois atendeu no geral aos padrões de qualidade relativos à água para

consumo humano, nunca excedendo em nenhum parâmetro o valor máximo admissível (VMA).

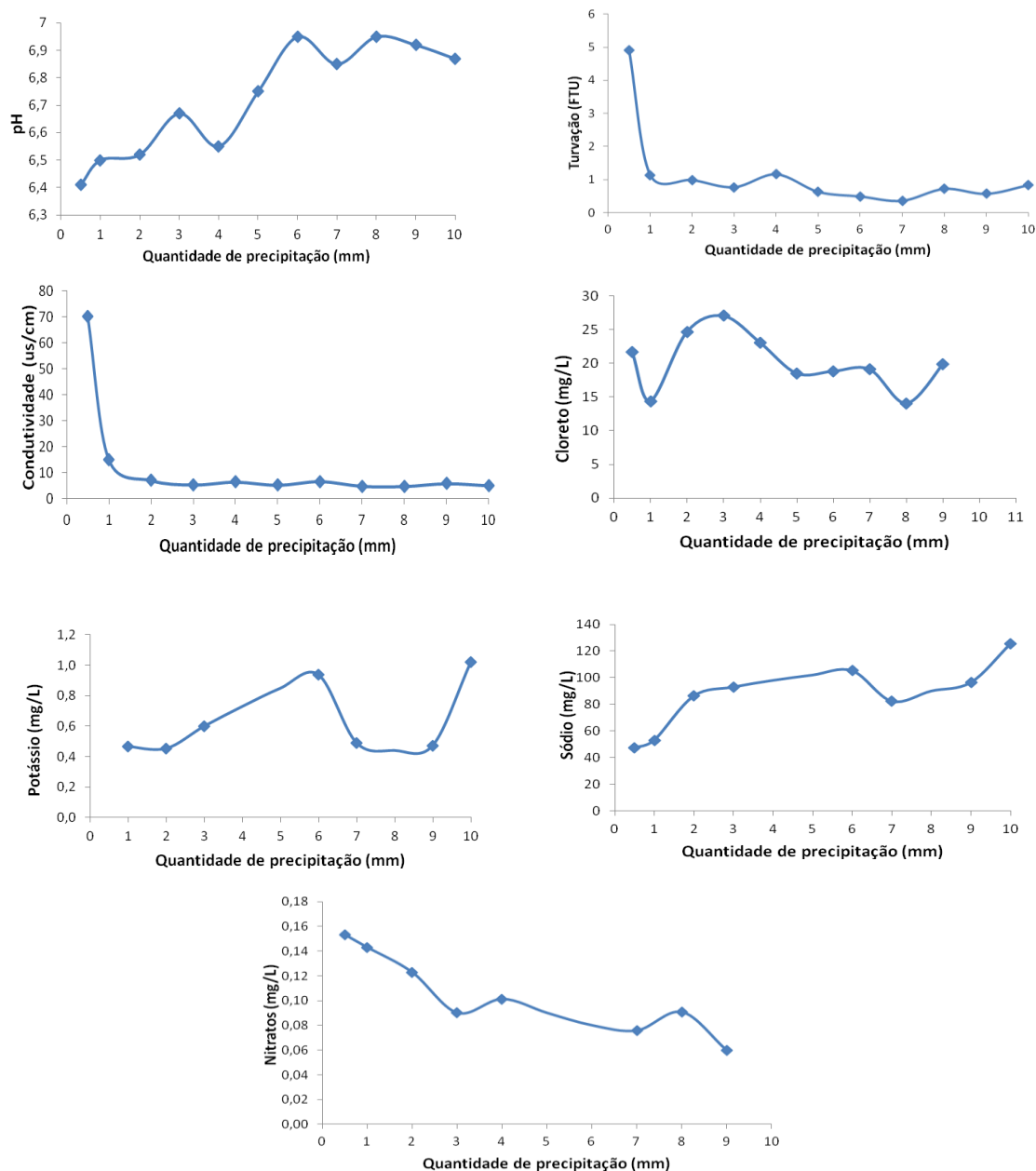


Fig. 4.1. Variação da concentração dos parâmetros pH, condutividade, turvação, nitratos, potássio, cloreto e sódio nas amostras de água da chuva recolhidas ao longo do evento de precipitação ocorrido no dia 13-Out-2014 (até uma precipitação acumulada de 10 mm).

4.2. Qualidade da água de escoamento superficial

4.2.1. Qualidade físico-química

A qualidade físico-química da água de escoamento superficial foi avaliada em 6 eventos de precipitação distintos tendo em conta os períodos secos antecedentes à recolha das amostras, e perante volumes de precipitação e consequentemente quantidades de escoamento diferentes (Quadro 4.1).

Quadro 4.1. Quadro-resumo das amostras de água de escoamento analisadas e das condições de recolha.

Evento	Reservatório	Quantidade escoada (mm)	Período seco antecedente	Precipitação total (mm)
1	19-07-2014	1	288h	18,7
		2		
		3		
2	16-09-2014	1	21h	4,3
		2		
3	18-09-2014	1	34,5h	11,4
4	06-10-2014	1	218,2h	3,7
		2		
5	13-10-2014	1	8,33h	17,9
		2		
		3		
6	3-11-2014	1	336h	9,8
		2		
		3		

Os resultados estão apresentados graficamente na Fig. 4.2, e no Quadro E.1 (em anexo), e mostram a variação dos valores dos parâmetros de qualidade analisados em cada evento, para cada amostra de água recolhida em cada um dos reservatórios.

Os valores de pH da água de escoamento variam entre 7,0 e 8,5, verificando-se um aumento comparativamente aos valores de pH obtidos da água da chuva, sugerindo a influência da natureza da cobertura e do aumento do tempo de contacto da água com a mesma neste acréscimo do valor de pH da água recolhida.

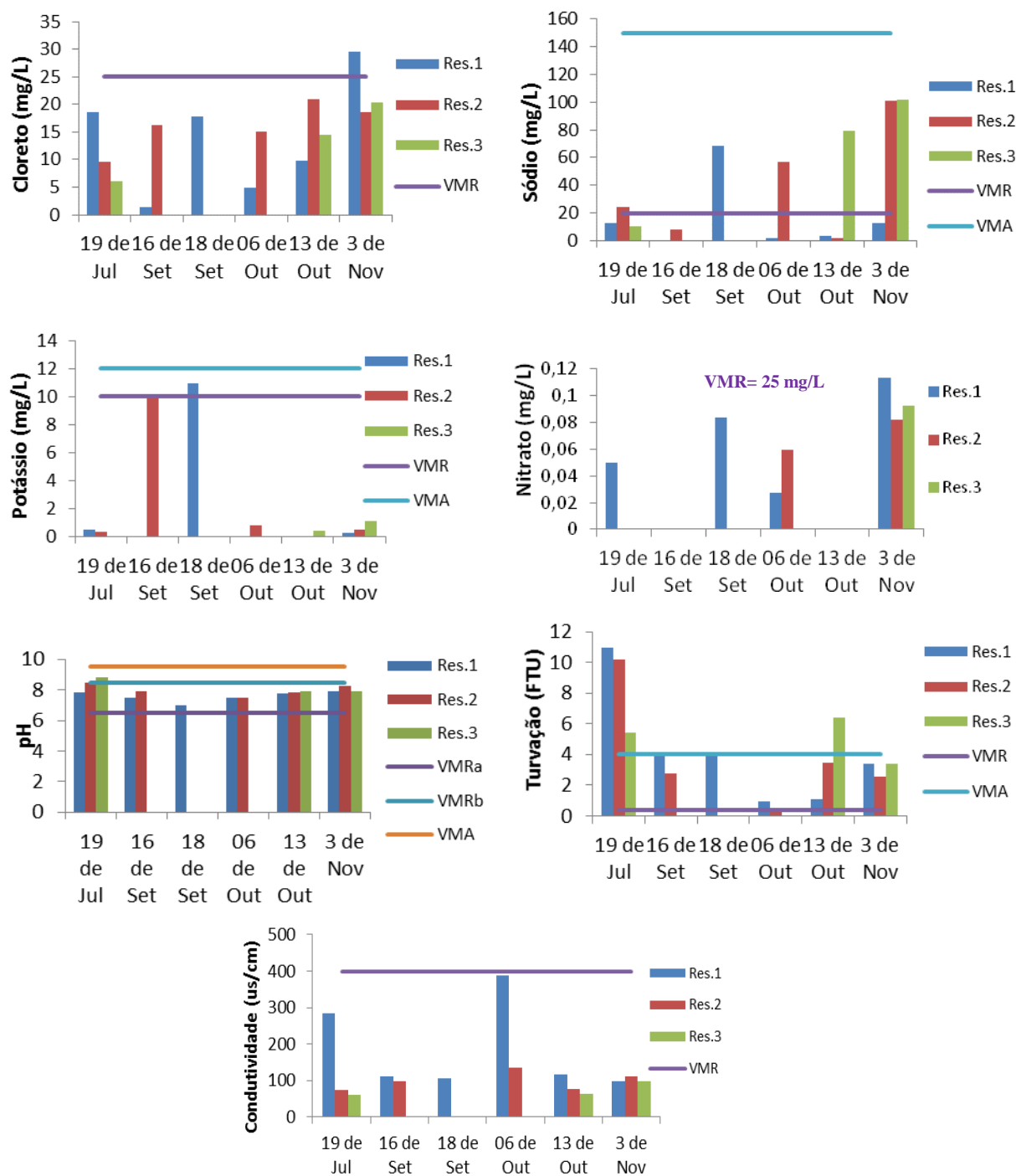


Fig. 4.2. Análise gráfica da variação da concentração dos parâmetros cloreto, nitratos, sódio, potássio e turvação, pH e condutividade nas amostras de água recolhidas em cada um dos reservatórios (Res.1, Res.2 e Res.3) e respetivos limites paramétricos.

VMR- Valor Máximo Recomendável estabelecido no anexo VI do DL n°236/98

VMA- Valor Máximo Admissível estabelecido no anexo VI do DL n°236/98

VMRa- Valor Máximo Recomendável estabelecido no anexo VI do DL n°236/98 (limite mínimo)

VMRb- Valor Máximo Recomendável estabelecido no anexo VI do DL n°236/98 (limite máximo)

No entanto, a nível regulamentar verifica-se que a gama de variação do pH se situa entre 6,5 a 8,5, encontrando-se assim dentro dos valores máximos recomendáveis ditados pelo anexo VI do DL n.º 236/98. Após a passagem pela cobertura, verifica-se que a água é tendencialmente alcalina, não se colocando o inconveniente da mesma poder originar processos de corrosão em tubagens metálicas, caso essas venham a ser utilizadas no sistema de aproveitamento de águas pluviais. O pH superior a 8 apresenta somente efeito negativo na eficiência de tratamentos de desinfeção da água que se possam ponderar.

A condutividade elétrica da água (teor de sais minerais dissolvidos), no geral, diminui ao longo do escoamento superficial, apresentando-se mais elevada nas amostras de água captada no reservatório 1. Os valores de condutividade mais elevados estão associados aos eventos de precipitação analisados com maior período seco antecedente, eventos 1 e 4, e menor volume de precipitação (evento 4), devido à maior acumulação de matéria na cobertura e respetiva dissolução na água. A mineralização elevada da água pode conduzir à formação de depósitos que pode afetar a viabilidade do uso da mesma para fins não potáveis como a rega e aplicações industriais. Contudo, em todas as amostras de água recolhidas, os níveis de condutividade encontram-se abaixo do limite paramétrico estabelecido (400 $\mu\text{s/cm}$).

A turvação, medida não específica da presença e concentração de materiais diversos em suspensão na água, diminui à medida que o escoamento se processou, apresentando maiores níveis de partículas suspensas nas primeiras quantidades de água captadas, como era de esperar. Os valores de turvação apresentados nas amostras de água recolhidas no reservatório 3 e nos eventos 4 e 5 excetuam-se pois, presumivelmente, entre o evento de precipitação e a recolha da amostra houve tempo para que as partículas suspensas na água sedimentassem conduzindo assim a valores de turvação da água mais inferiores. Relativamente aos valores limite paramétricos, em todas as amostras de água se excederam os valores máximos recomendáveis (0,4 FTU) pela legislação referida e 17%, 20% e 66% das amostras excederam os limites máximos admissíveis (4 FTU) nos reservatórios 1, 2 e 3 respetivamente. É de referir que a água analisada no presente estudo não sofreu qualquer tipo de filtração, pelo que é aconselhável e de esperar que sendo utilizado um filtro à entrada do reservatório de armazenamento da água da chuva, a turvação da água armazenada diminua substancialmente minimizando-se também o risco da fixação de eventuais bactérias nas partículas em suspensão.

No que respeita à presença dos iões analisados na água captada, não foram detetadas concentrações dos cations cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), amónia (NH_4^+) e aniões sulfato (SO_4^{2-}) e fosfato (PO_4^{3-}).

À exceção do teor de cloretos (Cl⁻) encontrado na água armazenada no reservatório 1 no evento 6 (evento de precipitação ocorrido com maior período seco antecedente), todas as concentrações das amostras de água de escoamento estão abaixo dos valores máximos recomendáveis (25 mg/L). O teor de nitratos (NO₃⁻) nas águas analisadas apresentou valores muito inferiores aos limites estabelecidos pela legislação, verificando-se inclusive a ausência de nitratos nos eventos 2 e 5 correspondentes aos eventos de precipitação com menores períodos secos antecedentes (devido ao efeito das chuvadas anteriores na lavagem da cobertura). As concentrações de sódio (Na⁺) na água recolhida excederam em 17%, 60% e 66% das amostras recolhidas nos reservatórios 1, 2 e 3, respetivamente, contudo o valor máximo admissível de 150 mg/L não foi excedido em nenhuma das amostras de água de escoamento. Por fim, os teores em potássio (K⁺) presentes na água recolhida também não excederam os valores máximos admissíveis referidos na legislação.

4.2.2. Análise comparativa: qualidade físico-química da água de escoamento superficial e qualidade da água da chuva

A Fig. 4.3 apresenta graficamente os valores médios obtidos de cada parâmetro de qualidade para a água de escoamento superficial e para a água da chuva. É de referir que a comparação e os valores médios dos parâmetros relativos à qualidade da água da chuva correspondem a um único evento de precipitação analisado. Constata-se que os valores médios obtidos de pH, turvação e condutividade nas amostras de água de escoamento superficial recolhida são superiores aos obtidos para a água da chuva, confirmando assim a incorporação na água, após o contacto com a cobertura, de sais minerais e partículas acumulados na mesma. No que respeita aos iões sódio, cloreto e nitratos verifica-se que as concentrações médias destes parâmetros na água da chuva apresentam-se mais elevadas comparativamente com os teores médios encontrados na água de escoamento. O potássio é o único ião cuja concentração média é mais elevada na água de escoamento em relação à água da chuva.

Contudo, não são detetadas diferenças muito significativas entre a qualidade da água de escoamento e a qualidade da água da chuva. A água aproveitada apresenta no geral boa qualidade físico-química, pois atendeu aos padrões de qualidade das águas para consumo humano (ver Quadro D.1 e Quadro E.1), estabelecidos no anexo VI do DL n.º 236/98, relativamente a todos os parâmetros de qualidade analisados e detetados (à exceção da turvação e do sódio).

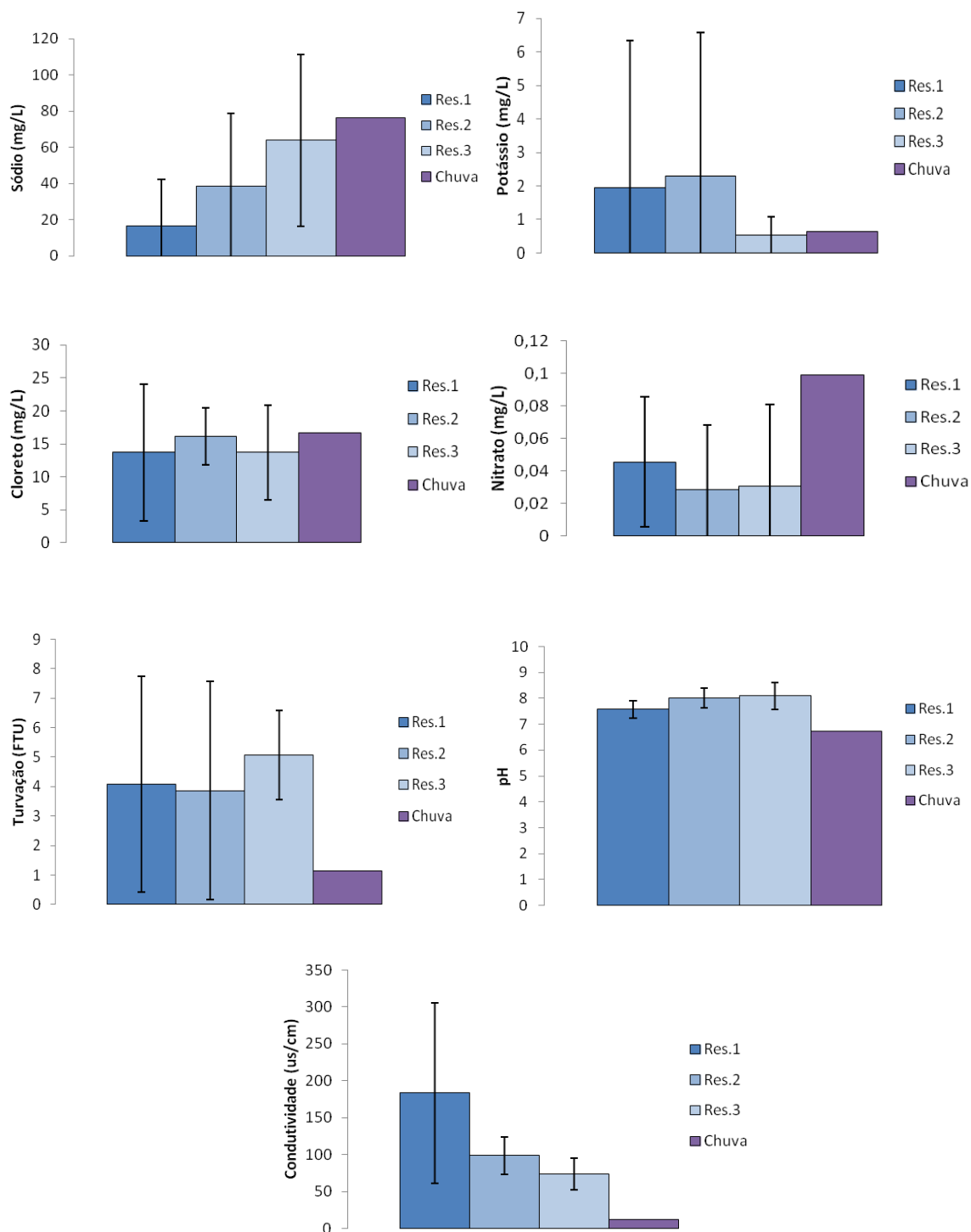


Fig. 4.3. Valor médio de cada parâmetro de qualidade analisado para a água de escoamento superficial (referentes aos 6 eventos analisados) e água da chuva.

4.2.3. Qualidade microbiológica

Relativamente à qualidade microbiológica da amostra de água de escoamento recolhida encontram-se apresentados no Quadro 4.2 e Fig. 4.4 os resultados dessa avaliação.

Quadro 4.2. Resultados da análise microbiológica da água de escoamento superficial.

Parâmetros microbiológicos	UFC/ 100 mL	Limite paramétrico (VMR) Anexo XV DL n° 236/98
Coliformes totais	0	500
Coliformes fecais (E. coli)	2	100
Enterococos fecais	0	100
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1	–

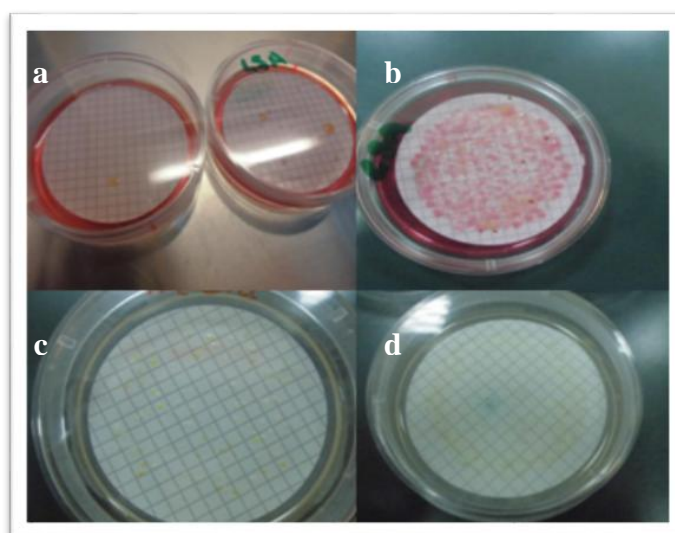


Fig. 4.4. Identificação de colónias: (a) *E.coli*; (b) Coliformes totais; (c) Enterococos fecais e (d) *Pseudomonas aeruginosa*.

Os resultados apresentados indicam a ausência de coliformes totais e enterococos fecais em 100 mL da água analisada e a presença de apenas 2 colónias da bactéria *Escherichia coli* e 1 colónia da bactéria patogénica *Pseudomonas aeruginosa*.

Verificou-se a existência de um elevado número de outras colónias (colónias atípicas) nos meios de cultura dos coliformes fecais e dos enterococos fecais, provavelmente associado ao desenvolvimento de bactérias que também manifestam a capacidade de crescimento nestes meios. A existência de 2 colónias da bactéria *E.coli* é indicativa da presença de matéria fecal na cobertura, associada provavelmente a fezes de pássaros. Contudo, tendo em conta os limites paramétricos apresentados (relativos à qualidade das águas balneares) constata-se que

o número de colónias detetados é bastante inferior aos valores máximos recomendados pela legislação (anexo XV do DL nº236/98).

A presença da bactéria *Pseudomonas aeruginosa* permite concluir que se deve tomar especial atenção no aproveitamento desta água em usos onde sejam provocados aerossóis, recomendando-se que a água utilizada seja previamente desinfetada.

4.3. Desvio do escoamento inicial e considerações finais sobre a qualidade da água aproveitada

Os resultados obtidos, no presente estudo, em relação à qualidade da água captada permitem retirar ilações acerca da necessidade ou não de desvio das primeiras quantidades de escoamento, com a consequência da melhoria substancial da qualidade da mesma.

Para o uso não potável da água, no presente caso, é recomendável que a sua qualidade não exceda os requisitos paramétricos legais relativos à qualidade das águas balneares, o que se verificou com a análise microbiológica da água efetuada. A água drenada referente aos primeiros 0,8 mm de escoamento apresentou boa qualidade bacteriológica para ser utilizada em descargas de autoclismos, nos sanitários do L.H.R.H.A. A qualidade físico-química da água captada, embora não comprometa a utilização da mesma para fins de descargas de autoclismos, também apresentou no geral boa qualidade principalmente tendo em conta os mais longos períodos secos antecedentes aos eventos analisados (9, 12 e 14 dias); manifestando assim características à partida não impeditivas ao bom funcionamento de um sistema de aproveitamento das águas pluviais. A turvação da água correspondeu ao parâmetro analisado que apresentou valores mais elevados aos máximos recomendáveis.

Assim face aos resultados da qualidade da água obtidos não se demonstra necessário a incorporação de um dispositivo “first-flush” no presente caso de estudo. Devendo-se, no entanto, prever a filtração da água à entrada do reservatório, de modo a reduzir a turvação, e que o mesmo seja provido de uma entrada anti-turbulência (“freio de água”) e descarregador de superfície. Também, a qualidade microbiológica da água captada deve sofrer monitorização aquando a implantação e utilização de um sistema de aproveitamento de águas pluviais no local, para prevenir eventuais riscos. Nos sanitários onde se reutiliza a água da chuva deve também existir sinalização nas canalizações de transporte da água pluvial, para distinção da canalização de abastecimento da água potável e nos próprios autoclismos, a recomendar o fechamento do tampo das bacias de retrete.

Contudo, se se constatar um mau funcionamento do sistema de aproveitamento da água da chuva e os resultados da monitorização assim o exigirem, deverá ser incorporado um dispositivo de “first-flush”.

4.4. Coeficiente de escoamento superficial

Dada a natureza da superfície de recolha da água da chuva no presente caso de estudo, o coeficiente de escoamento superficial tem de ser avaliado.

A especificação técnica da ANQIP, ETA 0701 (versão 8), recomenda a adoção de coeficientes de escoamento mensais (com base nas pluviosidades médias mensais) apresentando as respetivas expressões de cálculo. No entanto, só estão abrangidas na mesma, coberturas do tipo impermeáveis e verdes extensivas e intensivas, sendo a adoção destes coeficientes de escoamento inadequada para o presente caso de estudo.

Os resultados da avaliação do coeficiente de escoamento nos eventos de precipitação monitorizados nos meses de Junho a meados de Novembro (com exceção do mês de Agosto) estão apresentados na Fig. 4.5.

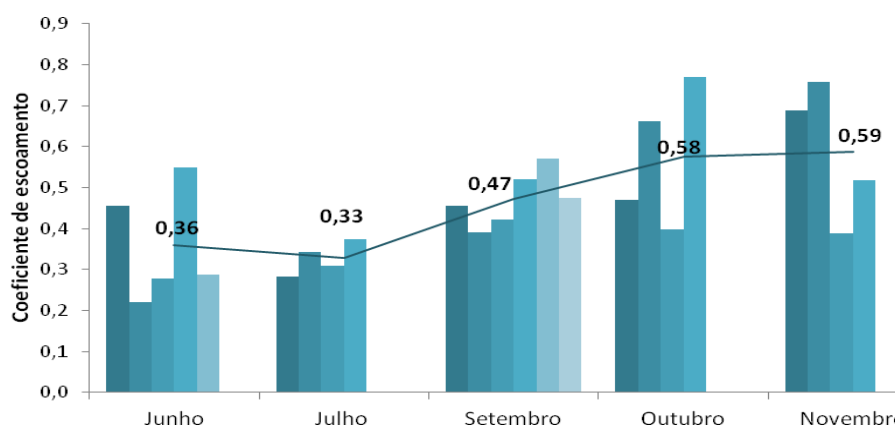


Fig. 4.5. Coeficientes de escoamento obtidos nos eventos de precipitação monitorizados no presente estudo nos meses de Junho, Julho, Setembro, Outubro e Novembro e respetivos valores médios.

Os valores médios dos coeficientes de escoamento obtidos nos meses de Junho, Julho, Setembro, Outubro e Novembro são, respetivamente, 0,36, 0,33, 0,47, 0,58 e 0,59. É de referir que, em praticamente todos os volumes escoados monitorizados na instalação experimental, nos meses de Outubro e Novembro, a água recolhida transbordou no reservatório 3, pelo que os coeficientes de escoamento médios reais serão ligeiramente superiores aos apresentados para estes meses.

Considerou-se um coeficiente de escoamento superficial de 0,6, para este tipo de coberturas planas com gravilha (também adotado no estudo de Santos e Taveira-Pinto, 2013), dado que o software utilizado para o dimensionamento do reservatório prevê a utilização de um valor médio.

4.5. Volume do reservatório

A determinação e seleção do volume ideal do reservatório e do potencial de economia de água potável a ele associado foi conseguida através do software Netuno tendo em conta três cenários. Os dados de entrada para a simulação do sistema de aproveitamento de águas pluviais para os vários cenários encontram-se apresentados no Quadro 4.3. Foram considerados na simulação três períodos de precipitação: séries temporais de precipitação diária de 10 anos mais secos (2003-2012) e 10 anos mais húmidos (1963-1972) e também uma série histórica de precipitação diária dos últimos 30 anos (1983-2012), dentre o período de 1941 a 2012.

Quadro 4.3. Dados de entrada no programa Netuno, para os três cenários.

DADOS DE ENTRADA			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Período de precipitação e respetiva precipitação média anual	1963-1972 (1094,4 mm)	2003-2012 (822,3 mm)	1983-2012 (915,7 mm)
Área de captação (m ²)	25,22	25,22	25,22
Necessidade de água potável (litros per capita/dia)	6	6	6
Número de utilizadores	17	17	17
Percentagem da necessidade total de água a ser substituída por água pluvial	100%	100%	100%
Coeficiente de escoamento superficial	0,6	0,6	0,6
Rejeição inicial do escoamento (mm)	0	0	0

No que respeita à averiguação dos consumos de água potável, em descargas de autoclismos, nos sanitários do L.H.R.H.A, apresentam-se no Anexo F, os resultados dos questionários e o número de descargas de autoclismos diárias e semanais registado ao longo do período de registo de utilização. O número total de utilizadores foi averiguado em 21 (13 docentes, 1 funcionário, e 7 alunos de doutoramento e mestrado), tendo 13 utilizadores respondido ao questionário. Neste universo de inquiridos, o número médio de descargas por dia, por

utilizador, foi de 1 vez. Cerca de 20% referiu que não era utilizador dos sanitários masculinos, considerando-se assim, como dado de entrada, um total de 17 utilizadores.

Através dos quadros de registo de utilização dos sanitários (ao longo de 7 semanas), verificou-se que não há um padrão de consumos regular em cada semana. O número de descargas de autoclismo diárias oscilou entre 1 a 7 vezes nos sanitários masculinos e entre 1 a 5 vezes nos sanitários femininos, sendo a média diária no conjunto dos sanitários no período de análise de 4 descargas, apenas 30% do número de descargas de autoclismos diárias obtido com a realização dos questionários. É de salientar também que os valores obtidos são referentes somente a um curto período de análise, o que dificulta a avaliação concreta do consumo médio diário de água potável, em descargas de autoclismos, nos sanitários do L.H.R.H.A.

Assim, optou-se por considerar, no presente estudo, o consumo diário per capita de água potável de 6L, equivalente a uma descarga de autoclismo por dia, por pessoa, pois o volume de cada descarga foi avaliado em 6L. Teve-se em conta, nesta avaliação, os consumos nulos aos fins-de-semana, feriados e em todos os períodos de férias em que o edifício se encontra encerrado, sendo contabilizados 226 dias de consumo (em cada ano).

Os resultados da simulação efetuada para os três cenários encontram-se apresentados no Quadro 4.4. e na Fig. 4.6 (representação gráfica da variação do volume do reservatório versus potencial de economia de água potável, com a indicação do volume ideal que corresponde ao volume do reservatório a partir do qual o aumento do potencial de economia de água potável é inferior a 1%).

Quadro 4.4. Resultados da simulação para os vários cenários.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Volume ideal do reservatório (m ³)	6	4	5
Potencial de economia de água potável (%)	71,65	54,99	60,68

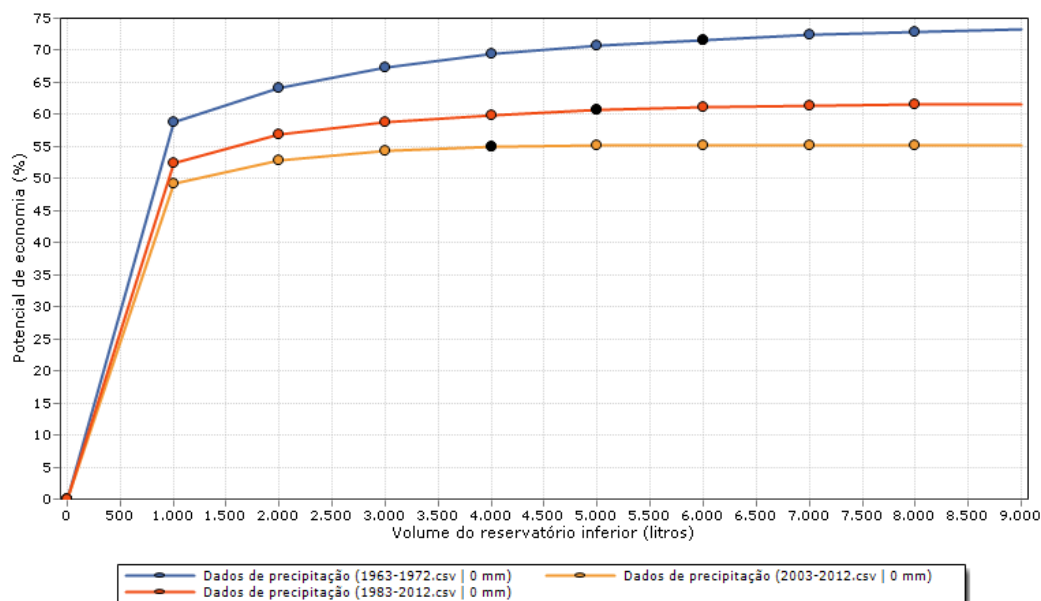


Fig. 4.6. Gráfico volume do reservatório versus potencial de economia de água potável, com a indicação do volume ideal, para os três cenários (cenário 1, curva a azul; cenário 2, curva a amarelo e cenário 3, curva a vermelho).

A utilização de séries temporais de precipitação de 10 anos mais secos (cenário 2) conduz a potenciais de economia de água potável inferiores e consequentemente a volumes de reservatório inferiores, neste caso, 4 m³. Por outro lado, a adoção de séries temporais de 10 anos mais chuvosos conduz naturalmente a uma maior potencialidade de aproveitamento da água da chuva e volumes de reservatório superiores, 6 m³ (cenário 1). A consideração de um terceiro cenário, com a utilização de séries temporais dos últimos 30 anos de precipitação diária conduziu a um volume de reservatório ideal de 5 m³ e a um potencial de economia de água potável de aproximadamente 61%; correspondendo ao volume de reservatório e potencial de poupança de água potável intermédio aos cenários 1 e 2.

O Quadro 4.5 apresenta o valor percentual dos dias em cada simulação em que a necessidade em água pluvial foi atendida totalmente, parcialmente ou não atendida.

Quadro 4.5. Percentagem dos dias da simulação em que a necessidade em água pluvial foi atendida totalmente, parcialmente ou não foi atendida para os três cenários.

% dos dias da simulação em que a necessidade em água pluvial foi atendida:	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
totalmente	41,20%	29,89%	33,80%
parcialmente	5,72%	9,31%	8,44%
não foi atendido	53,08%	60,80%	57,76%

Prevê-se que as alterações climáticas acentuem a frequência e intensidade de eventos de escassez de água em Portugal. Neste contexto é de salientar que a determinação do volume do reservatório num cenário 2 (para 10 anos mais secos) teve também em consideração, o máximo número de dias secos consecutivos registado no período de 1941 a 2012 (81 dias, em 2010).

Dado que o reservatório de armazenamento é o componente mais dispendioso do sistema de aproveitamento da água da chuva, a consideração de um volume de 4 m^3 parece aceitável no presente caso de estudo. Como se evidencia nos Quadros 4.4 e 4.5, a diferença de potencial de economia de água e a diferença percentual dos dias da simulação em que a necessidade em água pluvial foi atendida totalmente para os cenários 2 e 3 não é muito significativa, podendo-se optar pelo volume de 4 m^3 , sendo o volume mais inferior e mais económico.

A área de captação considerada no presente caso estudo ($25,22 \text{ m}^2$) é pequena, traduzindo-se numa menor potencialidade de aproveitamento da água da chuva. A consideração de uma área cinco vezes maior, 100 m^2 , conduziria em todos os cenários, para os mesmos volumes de reservatório, a um potencial de economia de água potável que rondaria entre os 97 e 100%. No entanto, a seleção desta superfície foi assim considerada no presente estudo dada a sua localização (proximidade aos sanitários do L.H.R.H.A) que permitiria diminuir custos de instalação e de operação do sistema de aproveitamento de águas pluviais bem como permitiria que o mesmo operasse por gravidade (se todo o conjunto funcionar hidraulicamente), sem o acréscimo de consumos energéticos.

4.6. Poupança em água potável e custo do reservatório

Foi efetuada uma análise da potencial poupança económica obtida, no presente estudo, com a consideração de um volume de 4 m^3 e uma eficiência média do sistema de aproveitamento da água da chuva de cerca de 55%. No Quadro 4.6 estão apresentados, em cada mês, os custos iniciais associados ao consumo de água potável nos sanitários e os custos finais com a instalação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais nas condições referidas.

Tendo em conta o consumo de água potável por utilizador assumido na presente simulação do sistema de aproveitamento da água da chuva, obteve-se uma poupança anual de 58,82 €, com um custo anual inicial de 3910,60 € com a água potável utilizada nos sanitários do L.H.R.H.A (tendo em conta a taxa mensal de resíduos fixa aplicável ao edifício de 316,8 €).

Quadro 4.6. Potencial poupança anual obtida com utilização de um sistema de aproveitamento da água da chuva com eficiência de 55% para o presente caso de estudo.

Meses	% Potencial de poupança	Consumo (m ³ /mês)	Custo inicial (€)	Custo final (€)	Poupança (€)
JAN	76,06	2,04	326,45	319,11	7,34
FEV	65,54	1,94	325,97	319,96	6,01
MAR	60,18	2,04	326,45	320,64	5,81
ABR	64,85	2,04	326,45	320,19	6,26
MAI	47,27	2,14	326,93	322,14	4,79
JUN	21,02	2,04	326,45	324,42	2,03
JUL	6,12	2,35	327,90	327,22	0,68
AGO	0	0	316,80	316,80	0
SET	46,26	2,24	327,41	322,50	4,91
OUT	57,81	2,35	327,90	321,48	6,41
NOV	77,85	2,04	326,45	318,94	7,51
DEZ	81,52	1,84	325,48	318,40	7,08
Média	54,99	1,92			
Total Anual	–	23,05	3910,60	3851,80	58,82

As maiores poupanças estão associadas aos meses mais chuvosos como Novembro, Dezembro e Janeiro e a menor poupança ao mês de Julho, coincidente com o mês mais seco. Os edifícios públicos universitários, no geral, como é o caso, devido ao período de férias apresentam a vantagem da quase inexistência de consumos de água nos sanitários durante o mês de agosto, mês seco.

As simulações efetuadas basearam-se no consumo diário de água de 6L por cada utilizador, ou seja, tendo em conta que os 17 utilizadores em cada dia procediam a uma descarga de autoclismo. Sendo estes inferiores, naturalmente menos água da rede pública de abastecimento irá ser necessária e conseqüentemente será de esperar uma maior poupança.

Custo do reservatório de armazenamento da água da chuva

Foram averiguados preços de venda de reservatórios de superfície em PEAD, para armazenamento da água da chuva, comercializados e/ou distribuídos em Portugal por várias empresas (Quadro 4.7).

Quadro 4.7. Custos de reservatórios de superfície em PEAD.

Volume⁽¹⁾ do reservatório	Empresa	Custo (IVA incluído) (€)
4 m ³	ECODEPUR®	1547,64
3 m ³ ⁽²⁾	Oliveira & Irmão	1719,00
5 m ³		1989,00
4,5 m ³	Golden Fibra	1014,75
3 m ³		817,95
5 m ³	Tractor-Rega, Lda.	1389,9

(1) - Corresponde aos volumes comercializados pelas empresas, entre 3 a 5 m³, em caso de inexistência de reservatórios com volume de 4 m³.

(2)- É fornecido com filtro, tubo de aspiração com bóia, difusor entrada e pré-disposição para ligações hidráulicas.

Pela análise dos custos constatou-se que os preços dos reservatórios rondam a faixa dos 1000€ o que tendo em conta a poupança obtida no presente estudo, poderá conduzir a um período de retorno do investimento inicial no mínimo de 17 anos, não sendo possível a recuperação a curto prazo. Contudo, seria necessário uma avaliação dos custos totais da implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, para que se conclua acerca da viabilidade económica de implantação do sistema no presente caso de estudo.

É de referir também que a seleção de um reservatório com 3 m³, por questões económicas, também será bastante plausível, uma vez que para um cenário 2, a eficiência do sistema é de 54,32%, que em pouco difere da eficiência obtida para um volume ideal de 4 m³ (54,99%).

5. CONCLUSÕES

O aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em zonas urbanas visa à redução do consumo de água potável, e é tido como uma das medidas necessárias ao aumento da eficiência hídrica, tão desejável face a previsões de escassez de água doce.

A utilização da água da chuva em edifícios, para os mais diversos fins, é conseguida através da instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAAP), que deverão ser projetados atendendo a aspetos qualitativos e quantitativos. O presente estudo do potencial de aproveitamento da água da chuva, para fins de descargas de autoclismos, em instalações sanitárias, com incidência numa edificação universitária (DEC/FCTUC), envolveu a caracterização da qualidade da água aproveitada e a avaliação da quantidade de água captada; bem como a análise de séries temporais diárias da precipitação e consumos de água locais. Visando-se explorar a implementação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais destinado aos sanitários do L.H.R.H.A foi determinado o volume do reservatório de armazenamento da água da chuva e averiguado o potencial de poupança em água potável para o presente caso.

Os resultados indicam, no geral, a boa qualidade da água recolhida na área de estudo, em relação aos seus parâmetros físico-químicos e sobretudo microbiológicos, pelo que a utilização da água da chuva em descargas de autoclismos, no presente caso, demonstra-se ser viável. A análise da qualidade da água captada permitiu concluir também que poderá ser dispensado a incorporação de um dispositivo de descarte dos primeiros milímetros de chuva, devendo contudo a água recolhida ser filtrada à entrada do reservatório de modo a reduzir a turvação e a acumulação de sedimentos no mesmo.

A determinação do volume ideal do reservatório de armazenamento da água da chuva e do potencial de economia de água potável no presente caso de estudo foi realizada seguindo uma abordagem que permite considerar a variabilidade temporal da precipitação, considerando períodos chuvosos e períodos secos, e a variabilidade dos consumos de água locais; investigaram-se três cenários para o funcionamento do sistema de aproveitamento das águas pluviais, por consideração de séries temporais de precipitação diária de 10 anos mais secos, 10 anos mais chuvosos e últimos 30 anos dentre o período de 1941 a 2012.

De entre os cenários apresentados, a opção que se revelou mais económica foi a adoção de um reservatório com um volume ideal de 4 m^3 , para o atendimento de uma necessidade média anual de 23 m^3 de água, que resultaria num potencial de economia de água potável de 55%.

Esta opção reflete a consideração de uma área de captação da água da chuva de 25,22 m², selecionada devido à proximidade desta superfície aos sanitários do L.H.R.H.A o que permitiria a redução de custos de instalação de um sistema de aproveitamento da água da chuva. Para além de que também reflete um cenário que teve em conta séries de precipitação diária dos 10 anos mais secos (2003-2012), o que se revela adequado em virtude da previsão de eventos de escassez de água num futuro próximo, decorrente de alterações climáticas.

A análise da potencial poupança económica obtida no presente caso de estudo e a averiguação do custo do reservatório indicam que a implementação de um sistema de aproveitamento neste caso específico pode não se demonstrar viável a curto prazo. A reduzida superfície de captação da água da chuva selecionada (25,22 m²) bem como as características da cobertura inerente ao edifício, devido sobretudo à presença do geotêxtil, influenciam a potencialidade de aproveitamento. Se a superfície de recolha fosse superior ou constituída por materiais impermeáveis, o potencial de aproveitamento da água da chuva seria maximizado.

Porém, neste âmbito, é importante ressaltar que os edifícios escolares ou universitários apresentam grande potencialidade de aproveitamento das águas pluviais devido às suas grandes áreas de cobertura e à existência de consumos de água mais baixos coincidentes com os meses mais secos caracterizadores do nosso clima (Julho e Agosto).

Neste contexto, seria importante a criação de incentivos governamentais à implementação destes sistemas em edifícios públicos escolares, através por exemplo de reduções fiscais, à semelhança do que acontece noutros países da Europa. De salientar também que deveriam existir estratégias/políticas no sentido da obrigatoriedade da instalação dos SAAP nas edificações com vista ao aumento da eficiência hídrica similarmente à já obrigatoriedade da instalação de sistemas de energias renováveis nos edifícios.

Este estudo pretende assim contribuir para a promoção de futuros projetos como incentivo à redução do consumo de água potável em usos que não o justifiquem, procurando garantir o futuro da sustentabilidade hídrica. Sugere-se também, para trabalhos futuros, um estudo qualitativo e quantitativo comparativo do potencial de aproveitamento da água da chuva em diferentes tipos de coberturas e uma maior caracterização da qualidade da água da chuva, dado que neste estudo a caracterização apenas foi realizada tendo em conta um evento de precipitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, W., Goonetilleke, A., Gardner, T. (2010). “Implications of faecal indicator bacteria for the microbiological assessment of roof- harvested rainwater quality in Southeast Queensland, Australia”. *Canadian Journal of Microbiology*, 56, 471-479.
- Almeida, M.C., Vieira, P., Ribeiro, R. (2006). “Uso eficiente da água no sector urbano”. Série Guias Técnicos 8. Instituto Regulador de Águas Residuais, Instituto da Água e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Agosto de 2006.
- Ambietel@ (2011). <http://www.ambietel.com/tecnologias.htm#reutilizacao>. Ambietel- Tecnologias Ambientais, Lda (página de internet oficial), Portugal.
- Annechinni, K.P.V. (2005). “Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis na Cidade de Vitória (ES)”. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil.
- APA@ (2014). <http://www.apambiente.pt/>. Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (página de internet oficial). Portugal.
- Aquastock (2013). Aproveitamento de água de chuva- Catálogo de Produtos. São Paulo, Brasil.
- Berndtsson, J.C., Bengtsson, L., Jinno, K. (2009). “Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs”. *Ecological Engineering*, 35 (3), 369-380.
- Carvalho, S.C.P., de Lima, J.L.M.P. and de Lima, M.I.P. (2014). “Rainwater sequential sampler: assessing intra-event water composition variability”. *Journal of Engineering Research and Technology*, 1 (1), 1-7.
- City of Berkeley (2010). “Guidelines for rainwater harvesting”. Berkeley, CA: Planning and Development Department, Energy and Sustainable Development & Building and Safety Division. Consultado em Novembro de 2014 em <http://www.ci.berkeley.ca.us/uploadedFiles/Planning_and_Development/Level_3_-_Energy_and_Sustainable_Development/rainwater.pdf>.
- Chang, M., McBroom, M.W. and Beasley, R.S. (2004). “Roofing as a source of nonpoint water pollution”. *Journal of Environmental Management*, 73, 307-315.
- Climdex@ (2014). <http://www.climdex.org/>. Climdex- Datasets for Indices of Climate Extremes (página de internet oficial).
- de Lima, J.L.M.P., de Lima, M.I.P., Carvalho, S.C.P., Gerardo, R., Isidoro, J. (2010). “Development of a low cost rain-gauge at the University of Coimbra”. 10th International Precipitation Conference (IPC 10), 23-25 June, Coimbra, Portugal, Book of Abstracts (IPC10 - Abstr. Nr. 184), 76-76.

- DeBusk, K. and Hunt, W. F. (2012). "Rainwater Harvesting: A Comprehensive Review of Literature". Biological & Agricultural Engineering. North Carolina State University. A project prepared for North Carolina Water Resources Research Institute.
- Decreto-Lei nº 236/98. Diário da República –I Série-A. 176 (98-08-01) 3712-3714.
- Despins, C., Farahbakhsh, K., Leidl, C. (2009). "Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 58 (2), 117-134.
- Devkota, J., Schlachter, C., Phillips, A.R., Apul, D. (2013). "Development and application of EEAST: A life cycle based model for use of harvested rainwater and composting toilets in buildings". Journal of Environmental Management, 130, 397- 404.
- Domènech, L., Sauri, D. (2011). "A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multifamily buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs". Journal of Cleaner Production, 19, 598-608.
- Ecoágua@ (2014). <http://www.ecoagua.pt/obras.php.html>. Ecoágua (página de internet oficial), Portugal.
- Ecoágua (2011). Aproveitamento de água pluvial-Catálogo 3P Technik. Ecoágua. Portugal.
- Ecodepur@ (2014). <http://www.ecodepur.pt/>. Ecodepur – tecnologias de proteção ambiental (página de internet oficial), Portugal.
- EEA (2012). "Towards Efficient Use of Water Resources in Europe". European Environment Agency, Copenhagen. EEA Report, 1.
- Environment Agency UK (2010). "Harvesting Rainwater for Domestic Uses: An Information Guide". Bristol, Reino Unido. Consultado em Setembro de 2014 em <<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140328084622/http://cdn.environment-agency.gov.uk/geho1110bten-e-e.pdf>>.
- Environment Agency UK (2008). "Harvesting Rainwater for Domestic Uses: An Information Guide". Bristol, Reino Unido. Consultado em Maio de 2014 em <<http://www.chs.ubc.ca/archives/files/Harvesting%20rainwater%20for%20domestic%20uses%20an%20information%20guide.pdf>>.
- ETA 0701 (2012). "Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em edifícios (SAAP)". Especificação Técnica ANQIP. Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP), Portugal.
- ETA 0702 (2012). "Certificação de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais". Especificação Técnica ANQIP. Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP), Portugal.
- Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Tayà, C., Rieradevall, J., Gabarrell, X. (2011). "Roof selection for rainwater harvesting: quantity and quality assessments in Spain". Water Research, 45 (10), 3245-3254.
- Fewtrell, L., Kay, D. (2007). "Microbial quality of rainwater supplies in developed countries: a review". Urban Water, 4 (4), 253-260.
-

- Forster, J. (1999). "Variability of roof runoff quality". *Water Science and Technology*, 39 (5), 137-144.
- Freitas, S.S., Ramos, N.M.M., Freitas, V.P. (2014). "Coberturas jardim-influência na temperatura superficial exterior". *Revista Construção Magazine - Revista técnico Científica Engenharia Civil*, 59, 28-33.
- GDRC [2011]. "Rainwater Harvesting and Utilisation". An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management: An Introductory Guide for Decision-Makers. The Global Development Research Center (GDRC). Consultado em 2 de Novembro de 2014 em <<http://www.gdrc.org/uem/water/rainwater/rainwaterguide.pdf>>.
- Ghisi, E., Cordova, M.M. (2014). "Netuno 4". Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. Acedido em Novembro de 2014.
- Ghisi, E., Cardoso, K.A., Rupp, R.F. (2012). "Short-term versus long-term rainfall time series in the assessment of potable water savings by using rainwater in houses". *Journal of Environmental Management*, 100, 109-119.
- Gikas, G.D., Tsihrintzis, V.A. (2012). "Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater". *Journal of Hydrology*, 466, 115–126.
- Godinho, L., Oliveira, P. (2009). "Reutilização de águas residuais domésticas e pluviais". Apontamentos da disciplina de Instalações Técnicas em Edifícios. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Grundfos@ (2014). <http://pt.grundfos.com/produtos/find-product/rmq.html>. Bombas Grundfos Portugal S.A (página de internet oficial), Portugal.
- Helmreich, B. and Horn, H. (2009). "Opportunities in rainwater harvesting". *Desalination*, 248, 118-124.
- Khastagir, A., Jayasuriya, N. (2010). "Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation". *Journal of Hydrology*, 381, 181-188.
- Lee, J.Y., Yang, J.S., Han, M., Choi, J. (2010). "Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources". *Science of the Total Environment*, 408 (4), 896-905.
- Lee, J. Y., Bak, G., Han, M. (2012). "Quality of roof-harvested rainwater - Comparison of different roofing materials". *Environmental Pollution*, 162, 422-429.
- Los Angeles County (2011). "Guidelines for Harvesting Rainwater, Stormwater, & Urban Runoff for Outdoor Non-Potable Uses". Los Angeles County Department of Public Health, Environmental Health Division. Consultado em Novembro de 2014 em <http://publichealth.lacounty.gov/eh/docs/ep_cross_con_RainwaterMatrix.pdf>
- Luna, Y.H.D.M., Santana, N.C.B., Júnior, R.H.A., Júnior, G.B.A. (2014). "Qualidade da água de chuva em João Pessoa: estudo comparativo com diversos padrões de qualidade conforme os usos pretendidos para água em edificações residenciais". *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, 2 (1), 53-68.

- Lye, D.J. (2009). “Rooftop runoff as a source of contamination: a review. *Science of the Total Environment*, 407, 5429-5434.
- Marinoski, A.K. (2007). “Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC”. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Melo, L.R. da C. (2007). “Variação da Qualidade da Água de Chuva no Início da Precipitação”. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Mendez, C.B., Klenzendorf, J.B., Afshar, B.R., Simmons, M.T., Barrett, M.E., Kinney, K.A., Kirisits, M.J. (2011). “The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater”. *Water Research*, 45 (5), 2049-2059.
- Mouli, P.C., Mohan, V.S., Reddy, S.J. (2005). “Rainwater chemistry at a regional representative urban site: influence of terrestrial sources on ionic composition”. *Atmospheric Environment*, 39 (6), 999–1008.
- Neto, C.O.A. (2003). “Segurança Sanitária das Águas de Cisternas Pluviais”. Anais do 4º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo da Água da Chuva. Juazeiro, ABCMAC. Brasil.
- Neto, C.O.A. (2013). “Aproveitamento imediato da água da chuva”. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, 1 (1), 73-86.
- Nolde, E. (2007). “Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces”. *Desalination*, 215, 1-15.
- OECD (2012). “OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction”. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). Consultado em Outubro de 2014 em <http://dx.doi.org/10.1787/env_outlook-2012-8-en>
- Oliveira, F.T.A. (2008). “Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental - Simulador para avaliação da viabilidade”. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Piñeiro, J.M., Rodríguez, E.A., Pérez, C.M., Heras, G.B., Carou, I.T., Mahía, P.L., Lorenzo, S.M., Rodríguez, D.P. (2014). “Influence of marine, terrestrial and anthropogenic sources on ionic and metallic composition of rainwater at a suburban site (northwest coast of Spain)”. *Atmospheric Environment*, 88, 30-38.
- PNUEA (2012). “Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água”. Implementação 2012-2020. Agência Portuguesa do Ambiente. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa, Portugal.
- Rainharvest@ (2014). <http://www.rainharvest.com/rain-harvesting-pty-downspout-first-flush-diverter.asp>. RainHarvest Systems (página de internet oficial), Georgia, Estados Unidos da América.

- Rainharvesting@ (2014). <http://www.rainharvesting.co.uk>. Rainharvesting Systems, Ltd. The UK's Original Rainwater Harvesting Company (página de internet oficial), Reino Unido.
- Roebuck, R.M. (2007). "A whole life costing approach for rainwater harvesting systems: an investigation into the whole life cost implications of using rainwater harvesting systems for non-potable applications in new-build developments in the UK", PhD. Thesis, University of Bradford, Bradford.
- Santos, C., Taveiro-Pinto, F. (2013). "Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods". *Resources, Conservation and Recycling*, 71, 1-6.
- Santos, C., Taveira-Pinto, F., Cheng, C.Y., Leite, D. (2011a). "Otimização do consumo de água em edifícios. Implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas". 6ª Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Santos, D.J.C. (2011). "Aplicação de Medidas de Eficiência Hídrica em Meio Hospitalar: O caso do Aproveitamento de Águas Pluviais". Dissertação de Mestrado em Saúde Ocupacional. Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Santos, P.S.M., Otero, M., Santos, E.B.H., Duarte, A.C. (2011b). "Chemical composition of rainwater at a coastal town on the southwest of Europe: what changes in 20 years? ". *Science of the Total Environment*, 409, 3548-3553.
- Simmons, G., Hope, V., Lewis, G., Whitmore, J., Gao, W. (2001). "Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand". *Water Research*, 35 (6), 1518-1524.
- Struck, S. (2011). "Rainwater Harvesting for Non-Potable Use and Evidence of Risk Posed to Human Health". British Columbia Centre for Disease Control, Vancouver.
- Texas Water Development Board (2005). "The Texas Guide on Rainwater Harvesting". Austin, Texas, 3ª Edição. Consultado em 20 de Fevereiro de 2014 em <http://www.twdb.state.tx.us/publications/reports/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf>.
- UNEP@ (2014). <http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/UrbanEnv-2/9.asp>. United Nations Environment Programme. International Environmental Technology Centre. Japão.
- UN-WATER@ (2014). <http://www.unwater.org/wwd09/flashindex.html>. UN-WATER (inter-agency entity of the United Nations) (página de internet oficial).
- USEPA (2008). "Managing Wet Weather with Green Infrastructure". Municipal Handbook. Rainwater Harvesting Policies. United States Environmental Protection Agency (USEPA) <http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/upload/gi_munichandbook_harvesting.pdf> (consultado em 31 de Outubro de 2014).
- Zhang, Q., Wang, X., Hou, P., Wan, W., Li, R., Ren, Y., Ouyang, Z. (2014). "Quality and seasonal variation of rainwater harvested from concrete, asphalt, ceramic tile and green roofs in Chongqing, China". *Journal of Environmental Management*, 132, 178-187.
- 3P Technik@ (2014). <http://www.agua-de-chuva.com/4-2-Home.html>. Brasil.

ANEXOS

ANEXO A- FOTOGRAFIAS DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NESTE ESTUDO



Fig. A.1. (1) Medidor de pH e temperatura “HI8314”; (2) Medidor da turvação “HI93125”; (3) Medidor multi-gama de condutividade elétrica “HI8033”.



Fig. A.2. Instalação experimental e pormenor do sistema de flutuadores.

ANEXO B – INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

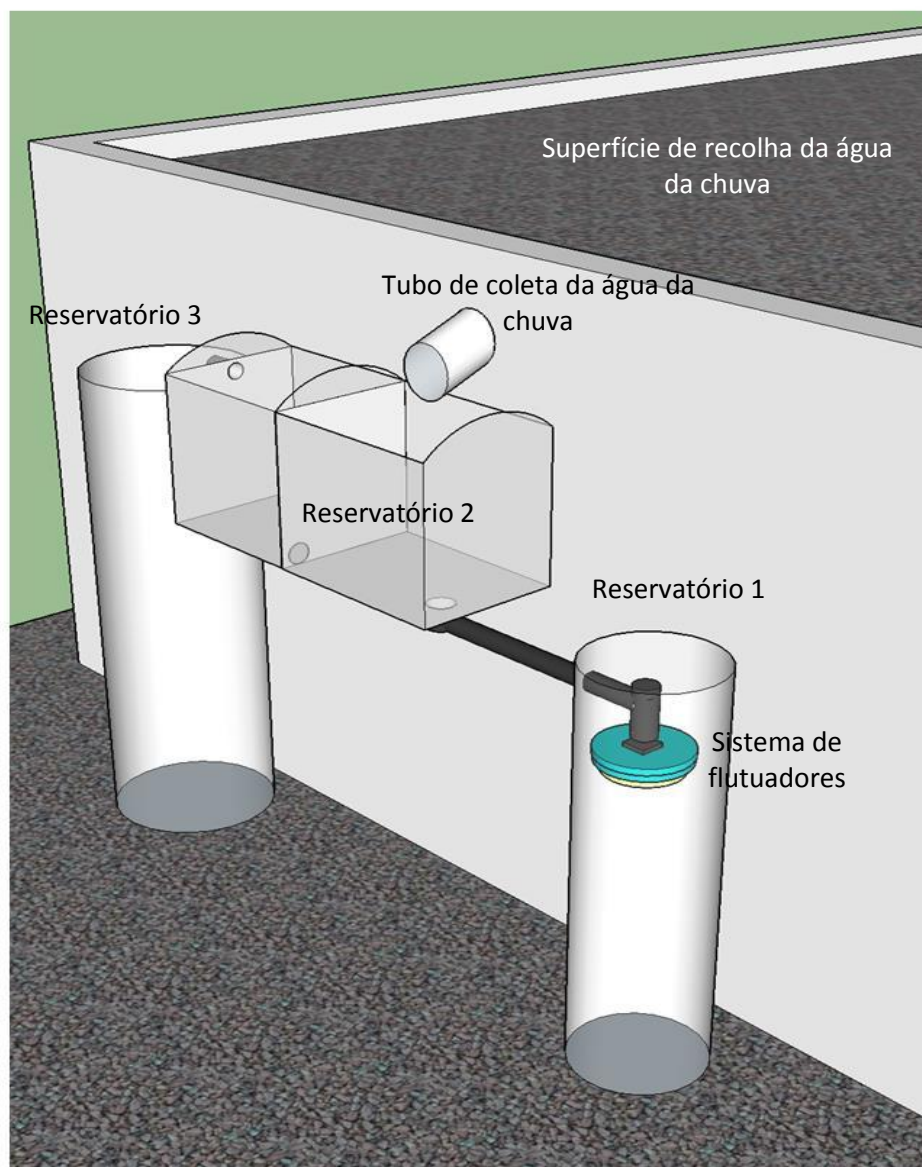


Figura B.1. Visualização em três dimensões da instalação experimental.

ANEXO C – QUESTIONÁRIO

Questionário

Utilização dos sanitários existentes no Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do DEC/FCTUC

O presente questionário surge no âmbito da realização da Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente sob o tema “Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis: estudo exploratório no Pólo II da Universidade de Coimbra”. Pretende-se elaborar um estudo exploratório de aproveitamento da água da chuva, a ser usada eventualmente em descargas de autoclismos nas duas instalações sanitárias (1 masculina e 1 feminina) existentes no Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (L.H.R.H.A.). Como tal, o presente inquérito destina-se a todos os docentes, alunos e funcionários afetos ao L.H.R.H.A., tendo como objetivo estimar o número total de descargas de autoclismos e, portanto, os respetivos consumos diários de água. Toda a informação prestada é anónima e usada exclusivamente para o referido estudo.

1. Utilizador

Utiliza os sanitários existentes no L.H.R.H.A.?

Sim

Não

Se respondeu não, o inquérito termina neste ponto.

2. Instalação Sanitária

Masculina

Feminina

3. Frequência de utilização

a. Em média, quantas vezes por dia (útil) descarrega o autoclismo desses sanitários?

1

2

3

4

> 4, neste caso, quantas vezes? _____

b. Em média, quantas vezes numa semana (útil) descarrega o autoclismo desses sanitários?

4. Comentários

Nota: Em conjunto com o presente questionário, por forma à obtenção de informação mais precisa acerca do número total de descargas de autoclismos efetuadas, existirá em cada sanitário masculino e feminino um quadro de registo de utilização. A todos os inquiridos que possam contribuir e colaborar apenas terão que registar cada descarga efetuada com uma cruz no respetivo quadro.

Muito Obrigada pela sua colaboração!

Susana Sousa

ANEXO D – RESULTADOS DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA

Quadro D.1. Resultados da qualidade físico-química da água da chuva (evento de precipitação ocorrido no dia 13-Out-2014).

Amostra	Quantidade de precipitação (mm)	pH	Condutividade ($\mu\text{s/cm}$)	Turvação (FTU)	Nitrato (mg/L)	Potássio (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Sódio (mg/L)
1	0,5	6,41	70,00	4,9	0,15	n.a	21,65	47,26
2	0,5	6,5	15,00	1,14	n.a	0,47	14,38	53,06
3	1	6,52	7,00	0,99	0,12	0,45	24,68	86,29
4	2	6,67	5,30	0,77	0,09	n.a	27,04	n.a
5	3	6,55	6,40	1,16	0,10	n.a	23,06	n.a
6	4	6,75	5,20	0,63	n.a	n.a	18,49	n.a
7	5	6,95	6,60	0,49	n.a	0,939	0,88	105,27
8	6	6,85	4,80	0,36	0,08	0,491	19,08	82,34
9	7	6,95	4,70	0,72	0,09	n.a	14,02	14,88
10	8	6,92	5,80	0,57	0,06	0,473	19,83	96,45
11	9	6,87	5,01	0,83	n.a	1,022	0,07	125,51
Média	–	6,72	12,35	1,14	0,09	0,64	16,65	76,38
Desvio padrão	–	0,20	19,34	1,27	0,03	0,26	8,91	35,77
Valor paramétrico (Anexo VI, DL n° 236/98)		6,5-8,5 (VMR)	400	0,4(VMR) 4 (VMA)	25 (VMR) 50 (VMA)	10 (VMR) 12 (VMA)	25 (VMR)	20 (VMR) 150 (VMA)

ANEXO E – RESULTADOS DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Quadro E.1. Resultados da qualidade físico-química da água de escoamento e comparação com os limites paramétricos estabelecidos no anexo VI do DL n.º 236/98.

Parâmetro	Reservatório	Amostras	Média	Desvio padrão	Intervalo	VMR	% que excedeu	VMA	% que excedeu
Turvação (FTU)	1	6	4,07	3,66	0,97-10,98		100		17
	2	5	3,86	3,70	0,35-10,15	0,4	80	4	20
	3	3	5,07	1,53	3,39-6,39		100		66
Condutividade ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1	6	183,70	121,90	98,7-387		0		–
	2	5	98,98	25,06	74,5-134,3	400	0	–	–
	3	3	73,8	21,60	61-98,7		0		–
pH	1	6	7,57	0,33	7-7,9		0		–
	2	5	8,00	0,39	7,49-8,5	6,5-8,5	0	9,5	–
	3	3	8,2	0,52	7,9-8,5		0		–
Cloreto (mg/L)	1	6	13,70	10,37	1,42-29,58		17		–
	2	5	16,09	4,31	9,55-21,03	25	0	–	–
	3	3	13,67	7,17	14,43-20,44		0		–
Nitrato (mg/L)	1	6	0,046	0,046	0-0,113		0		–
	2	5	0,028	0,039	0-0,082	25	0	50	–
	3	3	0,030	0,053	0-0,092		0		–
Sódio (mg/L)	1	6	16,38	25,97	0-68,26		17		0
	2	5	38,42	40,89	1,79-100,94	20	60	150	0
	3	3	63,8	47,4	10,66-101,7		66		0
Potássio (mg/L)	1	6	1,95	4,42	0-10,96		17		0
	2	5	2,29	4,25	0-9,88	10	0	12	0
	3	3	0,52	0,56	0-1,12		0		0

ANEXO F – RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO E QUADROS DE REGISTO

Quadro F.1. Número de descargas de autoclismo diárias e semanais durante o período de registo, nos sanitários femininos.

SANITÁRIOS FEMININOS							
	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	Total Semana	Média Diária
1 ^a Semana (29 Set a 3 Out)	1	2	0	0	4	7	1,4
2 ^a Semana (6 a 10 Out)	2	1	1	2	1	7	1,4
3 ^a Semana (13 a 17 Out)	2	2	2	2	2	10	2
4 ^a Semana (20 a 24 Out)	1	2	2	1	2	8	1,6
5 ^a Semana (27 a 31 Out)	5	1	2	4	3	15	3
6 ^a Semana (3 a 7 Nov)	3	0	0	3	1	7	1,4
7 ^a Semana (10 a 14 Nov)	0	1	2	1	2	6	1,2
	Média					8,6	1,7

QUADRO F.2. Número de descargas de autoclismo diárias e semanais durante o período de registo, nos sanitários masculinos.

SANITÁRIOS MASCULINOS							
	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	Total Semana	Média Diária
1 ^a Semana (29 Set a 3 Out)	2	5	5	1	1	14	2,8
2 ^a Semana (6 a 10 Out)	2	2	1	2	3	10	2
3 ^a Semana (13 a 17 Out)	2	5	1	2	3	13	2,6
4 ^a Semana (20 a 24 Out)	1	2	0	1	0	4	0,8
5 ^a Semana (27 a 31 Out)	4	5	2	0	7	18	3,6
6 ^a Semana (3 a 7 Nov)	2	3	4	3	3	15	3
7 ^a Semana (10 a 14 Nov)	5	1	2	1	0	9	1,8
	Média					11,9	2,4

QUADRO F.3. Resultados do questionário.

QUESTÕES			
Sanitários Masculinos	3 a)	3 b)	
Questionário 1	2	5	
Questionário 2	1	5	
Questionário 3	1	4	
Questionário 4	2	10	
Questionário 5	0	0	
Questionário 6	2	10	
Questionário 7	0	0	
Questionário 8	0	0	
Questionário 9	0	0	
Questionário 10	1	3	
Total	9	37	

QUESTÕES		
Sanitários Femininos	3 a)	3 b)
Questionário 1	1	5
Questionário 2	2	10
Questionário 3	1	5
Total	4	20