FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

2022/2023

REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS E OUTRAS SOLUÇÕES DE POUPANÇA DE ÁGUA POTÁVEL- APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DO PORTO

ANA RITA CORREIA BRANDÃO SIMÕES BARROS

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri:
Adrián Manuel Tavares da Silva, Professor Associado do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

_____

Orientador Académico:
Joaquim Manuel Veloso Poças Martins, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

_____

Orientador na Empresa:
Catarina Tuna de Sousa, Diretora de Drenagem Urbana da empresa Águas e Energia do Porto E.M.

_____

fevereiro, 2023

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de expressar o meu agradecimento ao Professor Doutor Joaquim Poças Martins, pelos sábios e úteis conselhos e disponibilidade demonstrada.

Agradeço à empresa Águas e Energia do Porto, E.M., pela oportunidade de colaborar neste projeto e pela disponibilidade e simpatia com que me receberam. Em especial, à Engenheira Catarina Tuna pelo apoio e esforço para me acompanhar e aumentar os meus conhecimentos no tema que concerne a esta dissertação.

Deixo ainda uma palavra de apresso aos professores que se cruzaram no meu percurso académico e que foram fonte de inspiração e conhecimento.

Aos meus pais, por todo o amor, preocupação, confiança, apoio incondicional e por terem priorizado a nossa formação.

À minha irmã, por ser o meu porto-seguro, apoiando e incentivando o meu percurso e pelo amor incondicional que nos une.

Ao Bento, pelo apoio e ânimo durante todo o percurso académico.

Agradeço também ao Jorge por se fazer presente e pela disponibilidade de sempre.

Aos amigos que me acompanham nesta jornada por todas as palavras e gestos de incentivo, pela disponibilidade e pelo cuidado.

À minha equipa da Associação Focus On Critical Actions por complementarem o meu percurso com desafios que permitiram o desenvolvimento de competências pessoais igualmente fundamentais para o meu crescimento enquanto profissional.

Por último, ao meu avô que, apesar de não poder assistir à conclusão do meu mestrado, ansiou por este momento e estaria, certamente, orgulhoso e feliz por poder dizer a frase que sempre me dedicava “Antes fazia engenhocas, hoje faz engenharia”.

Resumo

No setor da água, um dos principais problemas sentidos é a escassez deste recurso, influenciada pelos comportamentos do ser humano e pelas alterações climáticas. Surge assim a necessidade de encontrar soluções que promovam uma mais eficiente gestão dos sistemas de abastecimento de água procurando a otimização e sustentabilidade do seu uso, tendo, inclusivamente, sido definidas metas pelo Ministério do Ambiente e da Ação Climática que pretendem garantir a reutilização de águas residuais.

As águas residuais tratadas destacam-se como uma solução de valorização assentando numa visão de economia circular e permitindo fazer face a necessidades cuja qualidade da água não tem de ser equivalente à potável.

Deste modo, esta dissertação foca-se na análise de soluções de poupança de água potável, nomeadamente através da reutilização de águas residuais tratadas.

Este relatório baseia-se no caso de estudo do projeto de implementação de um sistema de produção e adução de águas residuais tratadas da empresa Águas e Energia do Porto, E.M. e na fase inicial da sua concretização.

O objetivo primordial prende-se com a análise da viabilidade e características deste projeto, apresentando ainda contributos para os processos seguintes necessários à sua implementação. Para esta análise é indispensável a consideração de diversos fatores relacionados com os padrões de consumo de água verificados no município, assim como a adequada utilização desta fonte para os usos a que se destina seguindo uma lógica de *fit-for-purpose*.

Percebeu-se que, nesta fase embrionária, o projeto é capaz de atingir os padrões de qualidade da água exigidos, mas não permite o alcance das metas quantitativas propostas pelo Governo, sendo necessário aumentar a produção e os clientes afetos a esta forma de abastecimento de água.

Por último, foi possível concluir que é urgente a adaptação à realidade atual de escassez de água seguindo o exemplo de outros países numa visão de gestão integrada. Apesar desta implementação implicar custos elevados, são várias as vantagens associadas.

Palavras-Chave: Águas Residuais, Água para Reutilização (ApR), Fonte Alternativa de Água, Poupança de Água Potável, Gestão Integrada da Água

Abstract

In the water sector, one of the main problems experienced is the scarcity of this resource, influenced by human behaviour and climate change. Therefore, the need arises to find solutions that promote a more efficient management of water supply systems seeking the optimization and sustainability of its use. Inclusively, goals have even been set by the Nacional Ministry of Environment and Climate Action that aim to ensure the reuse of wastewater.

Treated wastewater stands out as a valorization solution based on a circular economy vision and allowing needs to be met where water quality does not have to be equivalent to drinking water.

This dissertation focuses on the analysis of drinking water saving solutions, namely through the reuse of treated wastewater.

The following report is based on the case study of the implementation project of a treated wastewater production and adduction system of the company Águas e Energia do Porto, E.M. and the initial phase of its implementation.

The main objective is the analysis of the feasibility and characteristics of this project, also presenting contributions to the following processes required for its implementation. For this analysis it is essential to consider several factors related to water consumption patterns in the municipality, as well as the appropriate use of this source for its intended uses following a fit-for-purpose logic.

It was perceived that, in this embryonic phase, the project is able to achieve the required water quality standards, however it does not allow the achievement of the quantitative targets proposed by the Government, being necessary to increase the production and the clients assigned to this form of water supply.

To sum up, it was possible to reach the conclusion that it is urgent to adapt to the current reality of water scarcity following the example of other countries in a vision of integrated management. Although this implementation implies high costs, there are several associated advantages.

Keywords: Wastewater, Water for Reuse, Alternative Water Source, Drinking Water Saving, Integrated Water Management

ÍNDICE

1 Introdução 1

1.1 Apresentação do tema 1

1.2 Organização da dissertação 8

1.3 Objetivos gerais 10

2 Enquadramento do tema 11

2.1 Soluções de poupança de água potável 12

2.1.1 Soluções centralizadas 13

2.1.2 Soluções descentralizadas 20

2.2 Estado de arte 23

2.2.1 Contexto internacional 23

2.2.2 Contexto nacional 36

2.2.3 Contexto Município do Porto 44

2.3 Gestão internacional aplicada ao contexto português 47

2.3.1 Capacidade de irrigação 47

2.3.2 Valorização dos nutrientes 47

2.3.3 Viabilidade da instalação de rede adutora 48

2.3.4 Possíveis zonas beneficiárias 49

2.3.5 Qualidade da água resultante 50

2.3.6 Rentabilidade das culturas 51

2.4 Legislação e licenciamento 55

2.4.1 Legislação 55

2.4.2 Licenciamento 62

2.5 Planos e Estratégias 64

2.5.1 Internacionais 64

2.5.2 Nacionais 65

2.5.3 Municipais 69

2.6 Avaliação da qualidade da água para reutilização 72

2.7 Enquadramento económico 76

3 Águas e Energia do Porto, E.M. 79

3.1 Município do Porto 79

3.2 História da Águas e Energia do Porto, E.M 80

3.3 Águas e Energia do Porto, E.M. atualmente 83

3.3.1 Redução de Perdas 85

3.3.2 Implementação de soluções NBS nas linhas de água 87

3.3.3 Exploração de águas de outras origens 90

4 Desenvolvimento do trabalho 95

4.1 Metodologia desenvolvida 95

4.2 Possibilidades de proveniência da água em contexto municipal 97

4.3 Estudo do potencial de aplicação de ApR no município 98

4.3.1 Potenciais clientes 98

4.3.2 Referenciação e justificação 100

4.3.3 Georreferenciação 101

4.3.4 Potencial de poupança 104

4.3.5 Análise dos consumos de água 105

4.4 Situação atual, proposta de tratamento e envolvente da ETAR do Freixo 114

4.4.1 Dados históricos do efluente 114

4.4.2 Projeto piloto de tratamento aplicado na ETAR 115

4.4.3 Qualidade da água resultante 123

4.4.4 Planeamento de condutas adutoras e rede de abastecimento com ApR proveniente da ETAR do Freixo 125

4.4.5 Custos associados à rede de adução 130

4.4.6 Tarifa a aplicar 135

4.5 Situação atual ETAR de Sobreiras 146

4.6 Outras soluções e comparação económica 147

5 Conclusões 150

6 Recomendações futuras 153

7 Bibliografia 156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Nível de *stress* hídrico previsto para 2040 a nível global. [7]..... 3
Figura 2- Reutilização de águas residuais a nível global. (Figura adaptada do livro *Advanced Treatment Technologies for Urban Wastewater* [16]) 14
Figura 3- Esquema explicativo da diferença entre osmose e osmose inversa. [17] 19
Figura 4- Esquema de um Sistema de Reutilização de Águas Cinzentas. [19] 21
Figura 5- Esquema de um Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais. [20]..... 22
Figura 6- Distribuição da média anual de pluviosidade no território australiano. [21] 25
Figura 7- Exemplo de rótulo aplicado em equipamentos em função da sua eficiência hídrica. [22]..... 27
Figura 8- Imagem ilustrativa da atração *Gardens By the Bay,* em Singapura. [24]..... 29
Figura 9- Fontes de água em Israel entre 1985 e 2014. [31]..... 32
Figura 10- Esquema ilustrativo do tratamento de águas residuais em aquífero. [31]..... 34
Figura 11- Plantação de vinhas em Negev. [33] 35
Figura 12- Rede de regadio na ilha da Madeira e distribuição dos seus 8 subsistemas. [34]37
Figura 13- Levada do Rei, Madeira. [35]..... 38
Figura 14- Açude destinado ao armazenamento de água na ilha de Porto Santo. [34] 40
Figura 15- Imagem promocional cerveja VIRA. [43]..... 44
Figura 16- Rede hidrográfica e bacias hidrográficas do concelho do Porto. [42] 45
Figura 17- Itinerários que poderão funcionar como base para as condutas. 49
Figura 18- Possíveis áreas beneficiárias de um projeto de reutilização de águas residuais tratadas provenientes da Grande Lisboa. 50
Figura 19- Notícias que demonstram os acontecimentos extremos ocorridos no Porto durante o mês de janeiro de 2023. [63-65]..... 70
Figura 20- Evolução dos custos médios associados aos serviços prestados aos utilizadores finais entre os anos de 2016 e 2020. [69] 77
Figura 21- Diagrama representativo da economia Donut. [71] 78
Figura 22- Mapa do município do Porto e cidades envolventes. 79
Figura 23- Áreas de atividade da empresa [12]..... 83

Figura 24- Eixos de atuação ao nível da redução das perdas reais. [Imagem cedida pela AEdP]..... 86
Figura 25- Água que entra no sistema, água faturada e água não faturada (m^3/dia) entre 2015 e 2021. [12]..... 87
Figura 26- Ações de limpeza e manutenção de leitos por equipa da AEdP. [Imagens cedidas pela empresa] 89
Figura 27- Renaturalização de 620 m da Ribeira da Granja – Troço Quinta do Rio: a) ribeira entubada; b) ribeira renaturalizada. [Imagens cedidas pela AEdP] 89
Figura 28- Requalificação do rio Tinto, Parque Oriental. [Imagens cedidas pela AEdP]..... 90
Figura 29- Ribeira no Parque Central da Asprela. [Imagem cedida pela AEdP] 90
Figura 30- Arca d´Água. [Imagens cedida pela AEdP]..... 91
Figura 31- Esquema da metodologia desenvolvida ao longo do trabalho. 96
Figura 32- Distribuição geográfica das várias instalações em função do consumo médio mensal..... 103
Figura 33- Primeiro exemplo de instalação com consumo mais elevado nos meses de menor pluviosidade. 107
Figura 34- Segundo exemplo de instalação com consumo mais elevado nos meses de menor pluviosidade. 108
Figura 35- Terceiro exemplo de instalação com consumo mais elevado nos meses de menor pluviosidade..... 108
Figura 36- Instalação com consumo aproximadamente constante durante todo o ano sem diminuição significativa nos meses mais chuvosos. 109
Figura 37- Representação da divisão efetuada no município para efeitos de análise..... 110
Figura 38- Instalação com leitura horária e padrão de consumo aproximadamente regular. 111
Figura 39- Vista aproximada de padrão de consumo registado na instalação E. 112
Figura 40- Instalação com leitura horária e padrão de consumo mais acentuado nos meses de verão. 112
Figura 41- Vista aproximada de padrão de consumo registado na instalação F..... 113
Figura 42- Instalação com leitura horária, mas sem padrão de consumo registado. 113
Figura 43- Representação esquemática das diferentes configurações de montagem. 116
Figura 44- Operacional a realizar a limpeza do tamisador. 119

Figura 45- Sistema de membranas da instalação. 120
Figura 46- Sistema de membranas e tanque de água para tratamento 120
Figura 47- Reservatórios de armazenamento de água tratada. 121
Figura 48- Estrutura na qual é implementado o projeto piloto. 122
Figura 49- Amostra de efluente resultante do tratamento complementar aplicado na ETAR do Freixo. 124
Figura 50- Primeira proposta de rede de adução. 126
Figura 51- Segunda proposta de rede de adução. 127
Figura 52- Terceira proposta de rede de adução. 129

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Comparação entre a qualidade de água exigida pela legislação portuguesa e os valores obtidos após o tratamento realizado em Israel [21] [48] 51
Tabela 2- Informações referentes a culturas no Alqueva e cálculo das margens de lucro [49] 52
Tabela 3- Cálculo da margem para acréscimo em função das culturas [49] 54
Tabela 4- Normas de qualidade da água reutilizada para rega [48] 73
Tabela 5- Normas de qualidade de água para usos urbanos e usos paisagísticos [48] 73
Tabela 6- Parâmetros a monitorizar nas ApR em função do tipo de usos [48] 74
Tabela 7- Parâmetros a analisar e respetiva periodicidade em função da classe de qualidade e usos pretendidos [48] 75
Tabela 8- Número de clientes por tipologia de consumo no ano de 2021 [12] 84
Tabela 9- Distribuição percentual de água vendida em função da tipologia de cliente [20] 84
Tabela 10- Distribuição da quantidade de instalações em função da tipologia de utilização 101
Tabela 11- Caudais a ser tratados de modo a cumprir objetivos impostos [12] 104
Tabela 12- Distribuição do consumo médio mensal em função da tipologia de utilização 106
Tabela 13- Comparação entre a qualidade de água exigida pela legislação vigente e qualidade à saída da ETAR do Freixo sem tratamento complementar 115
Tabela 14- Valores de dimensionamento fornecidos pela empresa responsável 122
Tabela 15- Comparação entre valores da legislação e qualidade obtida na ETAR do Freixo antes e após tratamento complementar 124
Tabela 16- Estimativa de investimento ramo Viveiro Municipal para uma produção de 4 000 m^3/dia 132
Tabela 17- Estimativa de investimento ramo Vigorosa para uma produção de 4 000 m^3/dia 132
Tabela 18- Estimativa de investimento ramo Viveiro Municipal para uma produção de 1 000 m^3/dia 133
Tabela 19- Estimativa de investimento ramo Vigorosa para uma produção de 1 000 m^3/dia 133

Tabela 20- Dados de cálculo referentes ao investimento para implementação e adução de ApR na ETAR do Freixo para produção de 1 000 m^3/dia 136
Tabela 21- Dados de cálculo referentes ao custo do tratamento com MBR na ETAR do Freixo para produção de 1 000 m^3/dia 136
Tabela 22- Custos energéticos de adução diária de 1 000 m^3 137
Tabela 23- Total de custos para cálculo final da tarifa para uma produção de 1 000 m^3 consumidos ao longo de todo o ano zero 138
Tabela 24- Total de custos para cálculo final da tarifa para uma produção de 1 000 m^3 consumidos ao longo de sete meses no ano zero 138
Tabela 25- Dados de cálculo referentes ao investimento para implementação e adução de ApR na ETAR do Freixo para produção de 1 000 m^3/dia com financiamento para o processo de tratamento no ano zero 139
Tabela 26- Dados de cálculo referentes ao investimento para implementação e adução de ApR na ETAR do Freixo para produção de 1 000 m^3/dia com financiamento para o sistema adutor no ano zero 140
Tabela 27- Dados de cálculo referentes ao investimento para implementação e adução de ApR na ETAR do Freixo para produção de 1 000 m^3/dia com financiamento para a totalidade da implementação no ano zero 140
Tabela 28- Total de custos para cálculo final da tarifa para uma produção de 1 000 m^3 consumidos ao longo de todo o ano para o ano horizonte 141
Tabela 29- Valores resultantes dos cálculos de tarifa efetuados para uma produção de 1 000 m^3/dia no ano horizonte 141
Tabela 30- Dados de cálculo referentes ao investimento para implementação e adução de ApR na ETAR do Freixo para produção de 4 000 m^3/dia 142
Tabela 31- Dados de cálculo referentes ao custo do tratamento com MBR na ETAR do Freixo para produção de 4 000 m^3/dia 142
Tabela 32- Custos energéticos de adução diária de 4 000 m^3 142
Tabela 33- Total de custos para cálculo final da tarifa para uma produção de 4 000 m^3 consumidos ao longo de todo o ano no ano horizonte 143
Tabela 34- Valores resultantes dos cálculos de tarifa efetuados para uma produção de 4 000 m^3/dia no ano horizonte 143

Tabela 35- Valores de tarifa em função da produção, consumo, financiamento e horizonte temporal 144
Tabela 36- Comparação entre a qualidade de água exigida pela legislação vigente e qualidade à saída da ETAR de Sobreiras sem tratamento complementar..... 146
Tabela 37- Custos associados à extração de águas subterrâneas através de um furo 148

ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AEdP	Águas e Energia do Porto, E.M.
ANF	Água Não Faturada
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ApR	Água para Reutilização
CBO_5	Carência Bioquímica de Oxigénio
CMP	Câmara Municipal do Porto
E. coli	Bactéria *Escherichia coli*
ENAAC	Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETAR	Estacão de Tratamento de Águas Residuais
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
MBR	*Membrane BioReactor* (Reator Biológico de Membranas)
NBS	*Nature Based Solutions*
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
P-3AC	Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas
PENSAAR	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais
PENSAARP	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais e Pluviais
PNUEA	Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água
RASARP	Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal
RNA	Roteiro Nacional para a Adaptação
SMAS	Serviços Municipalizados de Água e Saneamento
SST	Sólidos Suspensos Totais

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

A água é essencial à vida, permite não só a existência dos seres humanos, como também a biodiversidade e o equilíbrio dos vários ecossistemas terrestres. Para além do seu papel fundamental para a nossa subsistência, a água influencia também a qualidade de vida das populações e as atividades económicas. [1]

No planeta Terra a água existe em três diferentes estados físicos, estando ainda dividida entre água doce e salgada. Aproximadamente 70 % da superfície terrestre está coberta por água, sendo que a água salgada é a mais abundante, contendo os mares e oceanos 97,24 % da quantidade total de água. Por outro lado, apenas 2,76 % pode ser considerada água doce. Desta, 77 % apresenta-se no estado sólido. Estima-se que apenas 0,6 % da água localizada na superfície terrestre possa ser utilizada para as necessidades de toda a população mundial. [2]

A água é um recurso essencial para o desenvolvimento socioeconómico, para a produção de alimentos e energia, para a construção e manutenção de ecossistemas e, obviamente, para a sobrevivência do Homem.

A nível global, a agricultura (irrigação, pecuária e aquacultura) é o setor que mais água consome representando 69 % das captações anuais, sendo a restante fatia direcionada para a indústria, consumo doméstico e serviços. [3]

Verifica-se que, atualmente, o ciclo hidrológico está exposto a grandes pressões, sendo exemplos a poluição, introdução de espécies exóticas, alterações físicas como oscilações de caudal, alterações meteorológicas que afetam a quantidade de precipitação e uso excessivo da água. [1]

No âmbito desta dissertação, importa distinguir três conceitos que se relacionam com a falta de água a nível global, sendo estes os seguintes:

- *Stress* hídrico- Ocorre quando a procura excede a quantidade de água disponível durante um determinado período, podendo conduzir a situações de escassez. Pode causar a deterioração dos sistemas hídricos em relação à sua quantidade (ex: sobre exploração de aquíferos e rios) e à sua qualidade (contaminação dos solos); [4]

- Escassez de água- Referente a utilizações insustentáveis dos recursos hídricos, prolongadas no tempo, na qual a gestão aplicada pode ter uma grande influência;
- Seca- É um risco natural causado pela variabilidade climática, não podendo ser evitado pela gestão de água local. [5]

No que diz respeito à procura deste recurso finito, tem-se verificado um aumento devido ao crescimento da população mundial e ao desenvolvimento económico intensivo que exigem uma maior produção de alimentos e de geração de energia, estando o consumo da água a aumentar em todo o mundo cerca de 1 % por ano desde a década de 1980. [3]

Por outro lado, relativamente à água disponível, tem sido comprovada uma elevada instabilidade devido às alterações climáticas não só pela diminuição de volume de precipitação em determinados períodos como também pela diminuição de água subterrânea armazenada. O ser humano pode afetar o ciclo hidrológico de forma direta ou indireta sendo que exemplos de um impacte direto são a construção de barragens e a utilização de águas superficiais e subterrâneas para fins industriais, agrícolas e domésticos e o impacte indireto relaciona-se, maioritariamente, com o contributo para as alterações climáticas que provocam grandes alterações neste ciclo. [6]

As mudanças sentidas acarretam uma imprevisibilidade difícil de gerir uma vez que provocam períodos de escassez de água e, por outro lado, de precipitação extrema conduzindo a cenários de seca e inundações. [7] Estas situações surgem em antítese com a previsibilidade associada às estações do ano conforme acontecia até há alguns anos. Deste modo, surge a necessidade de encontrar soluções que garantam alguma estabilidade no acesso aos recursos hídricos.

Relativamente ao *stress* hídrico sentido a nível mundial, a *World Resources Institute* desenvolveu um estudo baseado num conjunto de modelos climáticos e cenários socioeconómicos que permitiu realizar uma previsão relativamente do estado hídrico de 167 países para os anos de 2030 e 2040. Verificou-se que 33 países poderão enfrentam um *stress* hídrico extremamente elevado em 2040, o que significa que populações, empresas e explorações agrícolas estarão particularmente vulneráveis à escassez de água ficando extremamente dependentes das reduzidas quantidades de água disponíveis para abastecimento. [7]

Na Figura 1 são apresentados os níveis de *stress* hídrico previstos para os vários países ao redor do mundo para o ano de 2040.

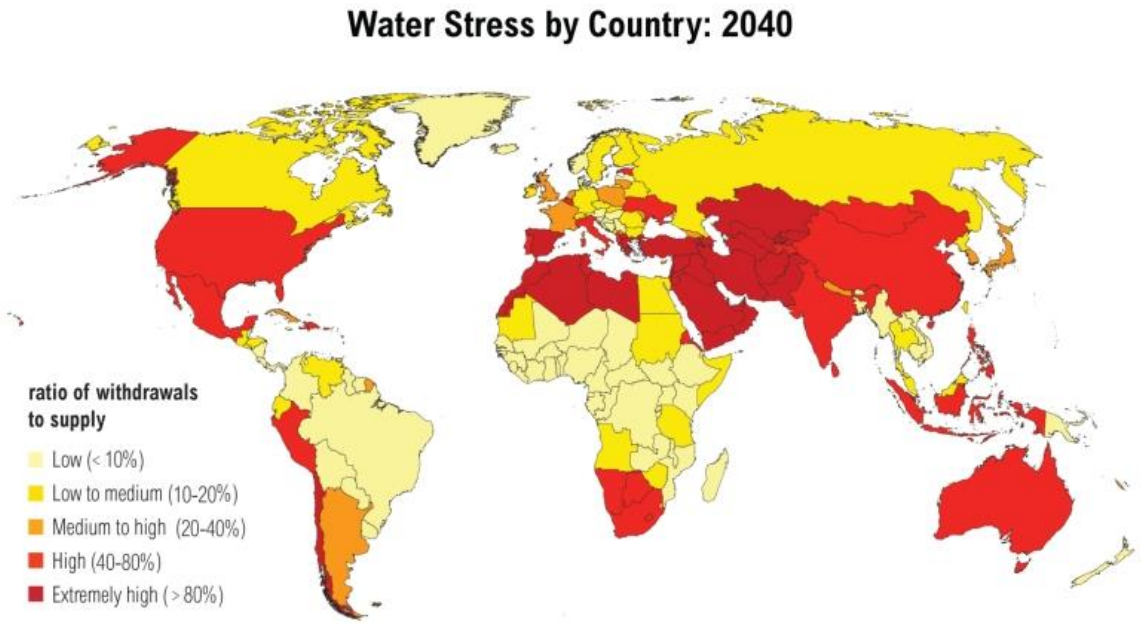


Figura 1- Nível de *stress* hídrico previsto para 2040 a nível global. [7]

De entre os 33 países com mais probabilidade de serem afetados, 14 desses localizam-se no Médio Oriente, incluindo 9 que são considerados extremamente afetados sendo estes Bahrain, Kuwait, Palestina, Catar, Emirados Árabes Unidos, Israel, Arábia Saudita, Omã e Líbano. Nesta lista encontram-se ainda países europeus como Grécia e Espanha. [7]

O *stress* hídrico poderá causar um relevante impacte económico, inclusivamente em superpotências globais como os Estados Unidos, a China e a Índia que apresentaram uma previsão, para algumas zonas destes países, de um aumento deste valor até 70 %. Este indicador é considerado por entidades como bancos comerciais internacionais que têm fatores de risco em consideração. O facto de o *stress* hídrico estar relacionado com aspetos menos previsíveis como as alterações climáticas acarreta incerteza que não é favorável em modelos económicos, o que poderá resultar em prejuízos financeiros. [7]

A magnitude deste problema é ilustrada pelo facto de quase metade da população mundial (3,6 mil milhões de pessoas) viver em áreas de escassez de água durante, pelo menos, um mês por ano, sendo que essa população pode aumentar para cerca de 5,3 mil milhões até 2050. [8] Paralelamente, mais de 120 milhões de pessoas no continente europeu não têm acesso a água segura para consumo. [6] Sabe-se ainda que é esperado que a diferença entre a oferta e procura de água atinja 40 % em 2030 se as práticas atuais permanecerem. [9]

No que concerne à gestão integrada deste recurso, muitos países apresentam uma grave lacuna de sistemas de monitorização, o que dificulta o equilíbrio entre as necessidades da comunidade, a economia e o tempo de escassez. Estas condicionantes devem ser consideradas devendo ser uma prioridade dos governos a elaboração de Planos de Ação Climática. Neste contexto, é essencial melhorar os sistemas de monitorização, aumentar a quantidade e qualidade dos dados obtidos a partir dos mesmos, investir em tecnologia que otimize esta gestão e tornar a comunicação mais eficaz entre as entidades gestoras, os governos, os clientes e outros *stakeholders*. [10]

A escalada de pressão que tem vindo a ser sentida num recurso tão valioso como a água e os impactes das alterações climáticas têm provocado uma maior insegurança no que concerne à água, conduzindo a conflitos, migrações, crises relacionadas com a saúde e alimentação e até insegurança energética. [11]

Em julho de 2010 foi reconhecido pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) o direito humano à água e ao saneamento definindo que todos os seres humanos devem ter acesso a água suficiente para uso pessoal e doméstico, uma quantidade que varia entre os 50 e os 100 litros/pessoa/dia. Estabelece-se ainda que os custos associados à água não devem exceder 3 % do rendimento familiar e que a fonte de água deve ser acessível não estando a mais do que 30 minutos de distância a pé. Também neste ponto é reforçada a ideia de que o abastecimento de água e o saneamento não devem ser dissociados uma vez que ambos são essenciais para a melhoria do estado da saúde associada à qualidade da água, a educação e produtividade económica. [12]

A urgência deste tópico levou a ONU a estabelecer, em 2015, como um dos principais objetivos até 2030 o cuidado com a água e a gestão de cidades. Há várias problemáticas que se pretendem colmatar, tendo sido criados para esse efeito os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). De seguida, são detalhados os ODS que melhor se enquadram com os objetivos desta dissertação:

- **6 - Água potável e saneamento**. Tem como objetivo garantir a disponibilidade e acesso universal e equitativo à água potável e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos. Foca-se em objetivos específicos como a melhoria da qualidade da água, a promoção de ecossistemas mais saudáveis, o uso eficiente da água e a gestão integrada dos recursos hídricos;

- **11 - Cidades e comunidades sustentáveis**. Pretende tornar as cidades e comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis. Este objetivo tem ainda mais relevância quando considerada a migração para os grandes centros urbanos, a que se tem assistido nos últimos anos. O aumento populacional nestas zonas provoca também uma mais elevada pressão sobre os recursos hídricos disponíveis;
- **12 - Produção e consumo sustentável**. Tenta garantir padrões de consumo e produção sustentáveis poupando recursos e reduzindo o desperdício. Com este objetivo pretende-se ainda aumentar a redução, reciclagem e reutilização;
- **13 - Ação climática**. Para além da adoção de medidas de combate às alterações climáticas e aos seus impactes, pretende-se ainda fortalecer a capacidade de adaptação aos perigos e desastres relacionados com o clima, sendo que neste contexto se destaca a escassez de água.

A escassez de água tem um maior impacte em alguns grupos populacionais, os mais pobres e marginalizados. As mulheres estão também entre os mais atingidos, sendo que em alguns países são elas as responsáveis por coletar água potável para toda a família, expondo-as assim a maiores riscos e impedindo a sua formação e acesso a trabalhos fora das comunidades. Sabe-se ainda que cerca de 1,5 milhões de crianças menores de cinco anos morrem todos os anos de doenças relacionadas com o consumo de água contaminada e que 90 % de todos os desastres naturais estão relacionados com a água. [3]

É assim percetível que, para estes grupos, as consequências da escassez de água se refletem no quotidiano afetando, inclusivamente, a sua saúde e segurança. Segundo o Alto Comissariado das Nações Unidas para os Refugiados, estas alterações levam cada vez mais pessoas a abandonarem as suas regiões, sendo que este número tem aumentado desde 2010 e, atualmente, cerca de 21,5 milhões de pessoas abandonam os seus países anualmente. [13] Surgem assim os termos "refugiados climáticos" quando os efeitos adversos da mudança climática levam a situações de violência que provocam a fuga de determinada área e "pessoas deslocadas no contexto de desastres e mudanças climáticas" quando a migração se dá como consequência dos efeitos do clima, como por exemplo escassez de alimentos e água, não havendo situações de violência associadas.

Apesar da maior proveniência destes migrantes ser o continente asiático, verificam-se também intensos movimentos oriundos da América Central, em particular de países como Guatemala, Honduras, El Salvador e Nicarágua.

Devido à sua evolução e à estabilidade climática quando em comparação com outras regiões do globo, a Europa é um dos principais destinos para estes grupos de pessoas que procuram melhores condições.

Conforme descrito anteriormente, espera-se que, associado também a um cenário de agravamento das alterações climáticas, a escassez de água atinja, em 2050, cerca de 5 mil milhões de pessoas pelo que é previsto que até ao mesmo ano pelo menos 1,2 mil milhões de pessoas possam ter de se deslocar devido a estas ameaças. [12-14]

Por todos estes fatores, é possível concluir que para além do impacte ambiental óbvio que a escassez de água acarreta, como é o caso da destruição de habitats, este problema afeta também os dois restantes pilares essenciais à sustentabilidade- económico e social.

Surge assim a necessidade de melhorar a gestão dos recursos, facilitar o acesso à água e saneamento e otimizar a utilização dos recursos hídricos, nomeadamente através da utilização de água proveniente de origens alternativas que permitem poupar água potável fazendo face às necessidades básicas apresentadas pelas populações, mas também a outras necessidades como a produção agrícola e industrial. Estas alternativas deverão seguir uma lógica de "*fit for purpose*", isto é, adequar a qualidade da água aos seus usos de modo a evitar o desperdício de água com elevada qualidade. Prova-se assim essencial aumentar a resiliência dos sistemas para que possam resistir a eventos climáticos extremos e contribuir para a diminuição da fragilidade existente em países com maior predisposição para serem afetados pela escassez de água. [12]

Ao longo deste relatório serão apresentados vários exemplos de soluções que são implementadas um pouco por todo o mundo de modo a contribuir para uma tão necessária adaptação.

Assim, – Planear, Adaptar e Mitigar – surge como mote a ser seguido para uma eficaz gestão do território tendo em conta a atual realidade hídrica vivida de modo a tornar momentos de crise em gatilhos de mudança.

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), "Em Portugal a gestão dos recursos hídricos- águas superficiais e subterrâneas- tem os seguintes princípios: o acesso de todos à água, a sua proteção como bem ambiental e a sua utilização eficiente, enquanto recurso escasso." [1]

Neste sentido, esta dissertação de mestrado irá debruçar-se sobre possíveis soluções de poupança de água potável, analisando integralmente o seu contexto internacional,

nacional e municipal, particularmente o abastecimento alternativo recorrendo a águas residuais tratadas. Este relatório será realizado utilizando como caso de estudo o município do Porto através da empresa responsável pela gestão de água, Águas e Energia do Porto E.M. propondo soluções para a poupança deste recurso e para o cumprimento de metas relativas à reutilização de águas residuais neste município.

1.2 Organização da dissertação

Esta dissertação visa o estudo de sistemas de abastecimento de água não potável de modo a poupar água potável, aumentando assim a sustentabilidade da exploração deste recurso. Deste modo, foi necessário proceder a uma pesquisa intensiva de referências bibliográficas para uma melhor compreensão do tema, como são exemplo: enquadramento internacional, nacional e municipal e utilização da água de uma forma mais eficiente, nomeadamente em meio urbano e na agricultura.

Foram trabalhados objetivos para o desenvolvimento do trabalho que envolveram a recolha e análise de dados.

Por último, foram elaboradas conclusões e recomendações para o futuro.

A presente dissertação está dividida em capítulos, sendo abordados os temas seguidamente descritos:

- **Capítulo 1**

  No primeiro capítulo é feita uma apresentação geral do tema, assim como a definição dos objetivos desta dissertação.

- **Capítulo 2**

  Este capítulo inclui a base teórica que permite compreender o tema principal deste trabalho dando a conhecer a situação atual a várias escalas, assim como as possíveis origens alternativas de água que permitirão a poupança de água potável.

  Tendo como base os exemplos apresentados, é feita uma simulação de um caso de estudo português no qual a água residual tratada percorreria uma extensão significativa de modo a fazer face às necessidades apresentadas em regiões que não correspondem ao local de produção.

  É feita uma apresentação da legislação vigente que se relaciona com este tema, dando especial destaque à lei que regula a reutilização das águas residuais, tendo este sido um passo importante no incentivo a esta alternativa.

  Destaca-se ainda um enquadramento aos planos e estratégias que se relacionam com o tema da poupança de água potável à escala global, nacional e municipal.

  Ainda neste capítulo é abordado o tema da qualidade da água que se pretende obter, em particular no caso da reutilização das águas residuais que são amplamente analisadas no âmbito desta dissertação.

Por último, é realizado um enquadramento económico compreendendo a situação atual a nível nacional e possíveis abordagens de gestão urbana que se enquadram no âmbito desta dissertação.

- **Capítulo 3**

  Nesta fase é apresentado o caso de estudo do município do Porto, sendo igualmente realizada a caracterização da cidade e a apresentação da empresa Águas e Energia do Porto, E.M.

  Para além da análise dos padrões de consumo de água dos clientes desta entidade gestora, é feita uma contextualização relativa às soluções aplicadas no município e ao funcionamento das Estações de Tratamento de Águas Residuais do município do Porto.

- **Capítulo 4**

  Neste capítulo encontra-se a descrição do trabalho prático desenvolvido. Nele é apresentada a metodologia para a obtenção e análise de resultados, a possível proveniência de água no município e desenvolvido o caso prático do município do Porto. Neste sentido, foi feita uma análise e caracterização dos clientes que poderão ser abrangidos por um novo sistema de abastecimento com água para reutilização e estudado o potencial de poupança de água no município.

  Foi estudada a qualidade do efluente proveniente da ETAR do Freixo, analisado o efeito do projeto piloto de tratamento, planeando a implementação de condutas adutoras e analisado os custos inerentes a este projeto que se refletem nos diversos cenários de tarifa que foram igualmente estudados.

  Para a ETAR de Sobreiras foi feita uma análise menos detalhada dada a fase do projeto, analisando a qualidade do seu efluente e o potencial de implementação de um projeto semelhante.

- **Capítulo 5**

  Neste capítulo são retiradas várias conclusões com base na análise dos dados obtidos aliando-os às características do município do Porto.

- **Capítulo 6**

  No último capítulo são apresentadas recomendações a considerar no futuro tendo por base os conhecimentos e informações adquiridas após a realização desta dissertação.

1.3 Objetivos gerais

Este trabalho surge também motivado por uma proposta apresentada pelo Ministério do Ambiente e da Ação Climática na qual se pretende que as Estações de Tratamento de Águas Residuais com elevada capacidade tecnológica e, em particular, as cinquenta maiores ETAR nacionais, nomeadamente a ETAR de Sobreiras e a ETAR do Freixo (ambas geridas pela Águas e Energia do Porto, E.M.) desenvolvam planos de ação capazes de atingir uma taxa de reutilização da água residual de 10 % em 2025 e de 20 % em 2030.

Pretende-se assim estudar a viabilidade de utilização de origens alternativas de água, como é o caso da reutilização de águas residuais, no contexto do município do Porto.

Assim, no âmbito da realização desta dissertação, foram definidos objetivos gerais de orientação do trabalho:

- Estudar e entender quais os modelos de gestão de água mais vantajosos para a utilização no município do Porto de modo a poupar água potável;
- Definir, para o município do Porto, os potenciais clientes para uma origem alternativa de abastecimento de água e analisar os seus padrões de consumo;
- Analisar os consumos de água distribuídos pelo município de forma a dimensionar uma rede adutora eficiente;
- Analisar os resultados obtidos no decorrer do projeto piloto implementado na ETAR do Freixo tirando conclusões sobre a sua viabilidade;
- Compreender a capacidade de resposta atual às metas impostas;
- Estudar o enquadramento atual da ETAR de Sobreiras;
- Tendo em consideração a fase inicial em que se encontra o projeto de implementação de uma solução para reutilização de águas residuais tratadas no município do Porto, apresentar sugestões com base no trabalho realizado de modo a otimizar as fases seguintes deste processo;
- Estudar o potencial da zona do Alqueva e a sua gestão de água não potável tendo como propósito o aumento do potencial agrícola aliado a uma diminuição do consumo de água potável.

2 ENQUADRAMENTO DO TEMA

A água pode ser escassa por razões que vão desde a procura excessiva, erros numa gestão equilibrada ou até infraestruturas desadequadas que provocam pressão sobre os recursos hídricos.

Sabe-se que nos últimos anos a frequência e intensidade dos períodos de escassez de água tem aumentando e, consequentemente, os seus danos ambientais, sociais e económicos têm vindo também a crescer.

No entanto, são vários os desafios que o setor da água enfrenta sendo seguidamente descritos e apresentadas potenciais soluções para os mesmos:

1- Escassez de água

Conforme referido anteriormente, a escassez de água resulta dos comportamentos humanos e das alterações climáticas. Assim, surge a necessidade de criar a mudança de comportamentos podendo estar associada a educação ambiental e até a outras formas como a criação de legislação. Por outro lado, é necessário aproveitar ao máximo a água disponível, o que pode acontecer através da redução de perdas de água, implementação de soluções que permitam o aproveitamento da água pluvial disponível e a utilização de fontes alternativas de água, adaptando a sua qualidade ao uso permitindo assim a poupança de água potável. Este último ponto será alvo de maior escrutínio ao longo desta dissertação uma vez que é o foco do trabalho;

2- Risco de inundação

A ocorrência de intensos períodos de pluviosidade é uma das causas de cheias e inundações. De modo a reduzir a possibilidade de inundações, devem ser implementadas soluções que permitem a infiltração de grandes caudais de água. Um dos meios para este controlo é a infiltração de água no solo que permitirá o seu armazenamento para posterior reutilização;

3- Qualidade das massas de água

Com o objetivo de melhorar a qualidade da água deve haver um controlo rigoroso de afluências indevidas e uma maior exigência no que diz respeito ao tratamento de águas residuais, nomeadamente ao nível de poluentes emergentes e microplásticos;

4- Aumento da temperatura resultante da emissão de gases com efeito de estufa

O setor da água depende de um elevado consumo energético para a sua atividade, nomeadamente para a produção e transporte de água e para o tratamento de águas residuais. Assim, deve trabalhar-se no sentido de promover o aumento da eficiência energética dos equipamentos e o aproveitamento da energia resultante dos processos de tratamento de águas residuais através da produção de biogás.

Assim, ao longo deste capítulo, serão pormenorizados temas relevantes para uma abordagem holística a esta problemática no sentido de encontrar soluções que promovam a sustentabilidade do setor.

2.1 Soluções de poupança de água potável

Conforme descrito no capítulo introdutório, a rápida urbanização, a sobre-exploração dos recursos hídricos e as recorrentes secas muitas vezes associadas às alterações climáticas têm provocado escassez hídrica. Nos dias de hoje, procuram-se formas eficientes de poupança de água que passam pela redução de consumos, a redução de perdas e o aproveitamento de água de origens alternativas

Com a crescente necessidade de reduzir o consumo de água potável têm surgido, em todo o mundo, exemplos de como gerir de forma mais eficiente e sustentável este recurso procurando aproveitar todas as origens de água mesmo que de qualidade inferior, mas adaptada ao uso numa perspetiva de *fit for purpose*. As origens mais comuns de água são reutilização de águas residuais, a reutilização de águas cinzentas, o aproveitamento de águas pluviais, a dessalinização e a captação de águas subterrâneas. De seguida serão analisadas possíveis origens alternativas de água. Estas soluções dividem-se entre sistemas centralizados e descentralizadas. Um sistema centralizado trata águas oriundas de vários pontos, estando associado a uma aglomeração considerável. Por outro lado, um sistema descentralizado é gerido por um particular ou por uma entidade que produz água para ser consumida pelo próprio gestor do sistema não podendo ser cedida a terceiros.

2.1.1 Soluções centralizadas

2.1.1.1 Reutilização de águas residuais

A reutilização de águas residuais apresenta um grande potencial no que concerne à poupança de água potável, uma vez que estas águas derivam de um subproduto muitas vezes considerado um resíduo que acaba descartado. Paralelamente, ao contrário do que acontece com as águas pluviais e com a dessalinização, esta é uma alternativa que não está sujeita às variações do clima ou à distribuição geográfica das populações, sendo que basta haver a produção de águas residuais para que estas sejam transformadas num recurso valioso.

Para que o efluente oriundo das ETAR cumpra os parâmetros de qualidade exigidos é necessário melhorar o tratamento terciário aplicando um tratamento complementar que permitirá a utilização da água para usos adequados, sendo que a legislação vigente permite a reutilização de água proveniente de ETAR domésticas, urbanas e industriais para usos urbanos (ex.: rega de espaços verdes, lavagem de ruas e veículos, lavagem de contentores de resíduos e combate a incêndios), usos paisagísticos (ex.: suporte de ecossistemas e usos recreativos de enquadramento paisagístico), usos agrícolas e turísticos (ex.: rega de campos de golfe), usos industriais (ex.: água para arrefecimento) e usos próprios (atividades afetas ao produtor de Água para Reutilização). [15] Verifica-se também uma grande utilização para reabastecimento de aquíferos de forma artificial. Esta utilização deve-se também à capacidade de tratamento complementar inerente ao solo. O tratamento fornecido pelo solo pode ser complementado por outros tratamentos e deve ter-se em consideração que a qualidade da água extraída dos aquíferos depende também da água previamente fornecida ao aquífero.

As distribuições percentuais dos diferentes tipos de usos dados às águas residuais reutilizadas a nível global encontram-se representados no gráfico apresentado na Figura 2.

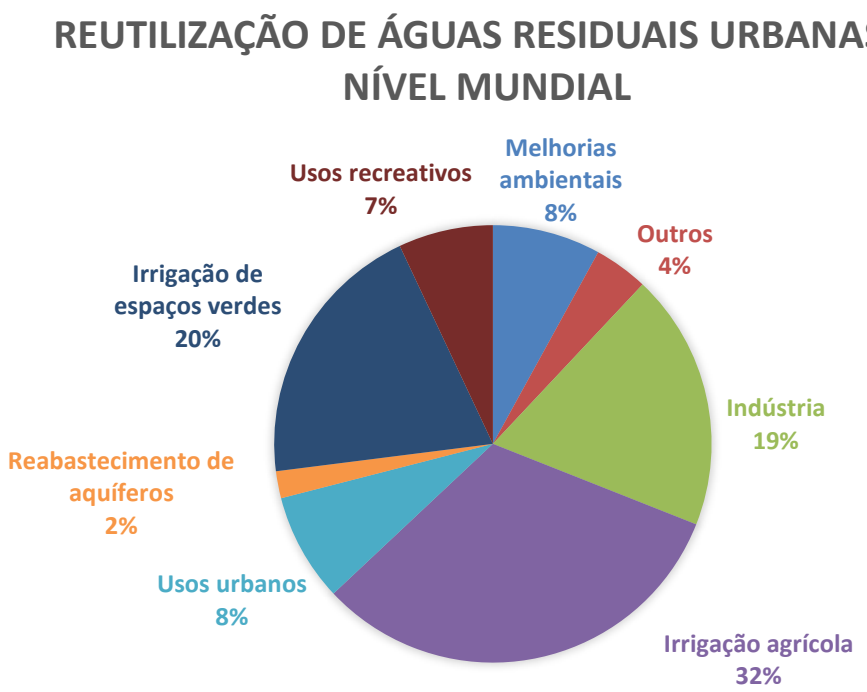


Figura 2- Reutilização de águas residuais a nível global. (Figura adaptada do livro *Advanced Treatment Technologies for Urban Wastewater* [16])

Existem vários tratamentos que se têm demonstrado eficientes e seguros na eliminação de contaminantes presentes nas águas residuais estando, por esse motivo, a ser amplamente utilizados. Os tratamentos atualmente mais utilizados são a filtração através de membranas, adsorção recorrendo a carvão ativado, ozonização e processo avançado de oxidação.

Análises concluem que estas quatro alternativas de tratamento podem ser bastante úteis para a mitigação de microrganismos apesar de nenhuma se mostrar uma barreira universal para micro contaminantes quando utilizadas separadamente. Dependendo da utilização final pretendida para o efluente pode ser necessário combinar várias tecnologias o que resultará num considerável impacte económico e energético.

Apresar da vasta quantidade de regulação existente para o tratamento de águas em ETAR, a água residual descartada para o ecossistema após o tratamento comum é uma fonte considerável de micro contaminantes nas linhas de água. São vários estes micro contaminantes nos quais se incluem pesticidas, compostos de fármacos e estrogénio que não são completamente removidos nos tratamentos convencionais, sendo detetados em efluentes de águas residuais. [16]

De seguida serão apresentadas as características de cada um dos quatro tratamentos anteriormente mencionados.

Membranas:

A tecnologia de membranas consiste na passagem de água residual por membranas finas com o objetivo de remover material particulado, matéria orgânica, nutrientes, agentes patogénicos e substâncias dissolvidas que não foram removidas em tratamentos anteriores.

Esta tecnologia é considerada a mais eficaz para a remoção de microrganismos.

O processo de filtração por membranas e ultrafiltração é comummente utilizado a nível mundial na filtração de efluentes municipais.

Apesar da eficácia destes processos na remoção de uma vasta gama de micro contaminantes, destacam-se também algumas desvantagens. Um dos seus inconvenientes é a formação de grandes volumes de concentrados que são descarregados em linhas de água. Estes volumes devem ser tratados antes da sua libertação de modo a evitar impactes prejudiciais para o ecossistema. Os fluxos resultantes da retrolavagem devem também ser considerados, principalmente se forem utilizados produtos químicos no pré-tratamento ou para limpeza de membranas. A estes pontos acresce ainda o elevado consumo energético, problemas de entupimento e substituição de membranas que acarretam custos elevados. [16]

Ozonização:

O ozono é um gás instável cuja estabilidade na água dura apenas alguns minutos e que apresenta uma rápida reatividade. Assim, a sua geração deve ter lugar no local utilizando ar ou oxigénio de alta pureza. Normalmente, o gás gerado contém entre 1 % e 3 % de ozono em peso se o gás inicial for ar, e entre 8 % e 12 % se for oxigénio puro. O ozono tem sido utilizado no tratamento de águas residuais para a desinfeção de efluentes há várias décadas e, por este motivo, tem sido estudado aprimorando esta tecnologia. É ainda necessário evitar concentrações excessivas de ozono de modo a evitar a formação de subprodutos perigosos.

Existem duas vias primordiais de reação para a eliminação de micro contaminantes por ozono. A primeira via é a reação do ozono com contaminantes orgânicos, sendo esta uma

reação molecular lenta e seletiva. Por outro lado, em águas alcalinas, o ozono pode reagir também com água ou outras substâncias formando radicais hidroxilo altamente oxidantes. [16]

Adsorção:

A adsorção é um processo de acumulação de substâncias que se encontram em solução. Durante a adsorção as moléculas de uma substância (adsorbato) ficam coletadas sobre a superfície de outra substância (adsorvente). Já vários materiais foram testados como adsorventes e, apesar de haver uma grande opção disponível no mercado, a maioria das ETAR que recorre a este processo utiliza carvão ativado pela sua eficácia e custo reduzido a que se associa. A adsorção é assim considerada uma operação de transferência de massa, normalmente de uma fase líquida para uma fase sólida.

No caso do tratamento de águas residuais, este processo é aplicado como complemento ao tratamento biológico previamente efetuado. [16]

Processo Avançado de Oxidação:

Este processo é baseado na geração de radicais hidroxilo que se tornam o principal agente oxidante do sistema. Este processo é capaz de remover elevadas quantidades de contaminantes.

Implica a utilização de uma grande quantidade de químicos e elevado consumo energético, o que se reflete nos custos operacionais. A necessidade de utilização de produtos químicos acarreta outras desvantagens tais como a logística associada ao armazenamento, manuseamento e controlo da injeção dos produtos aplicados. Paralelamente, o resíduo resultante é composto por peróxido de hidrogénio e deve ser tratado antes da sua deposição no ambiente. [16]

Para os quatro tratamentos anteriormente descritos há bastante informação uma vez que são aplicados amplamente em processos de tratamento de águas residuais para a remoção de micro contaminantes.

São várias as vantagens associadas à adução da água residual tratada como fonte alternativa de água sendo algumas delas descritas seguidamente:

- Redução do consumo de água potável contribuindo para a conservação dos recursos hídricos, tendo especial interesse em zonas que apresentem um elevado *stress* hídrico;
- Em zonas que apresentam escassez de água a possibilidade de reutilização de águas residuais e consequente aumento da disponibilidade deste recurso pode contribuir para o desenvolvimento económico e social, particularmente em zonas agrícolas;
- Os nutrientes presentes nas águas residuais tratadas, nomeadamente o fósforo e o azoto, permitem reduzir a utilização de fertilizantes artificiais responsáveis, muitas vezes, pela contaminação de solos. Esta é também uma vantagem para os agricultores dado que poderiam reduzir os custos associados aos fertilizantes;
- Comparativamente com as águas de origem subterrânea, o efluente proveniente das ETAR apresenta menores variações relativamente à qualidade e quantidade. Esta consistência poderá permitir a padronização de tratamento e a redução de custos.

Apesar desta ser uma solução com elevado potencial, apresenta também algumas desvantagens que serão de seguida enunciadas:

- Desconhecimento e falta de confiança por parte dos clientes na qual se incluem não só os clientes domésticos, mas também outros grandes clientes como unidades industriais. A falta de aceitação poderá dificultar a implementação desta forma de fornecimento de água;
- É necessário projetar e aplicar um novo sistema de adução e distribuição de água de forma a garantir sistemas de abastecimento independentes evitando a contaminação da rede de água potável. Devem ser tomadas todas as medidas de segurança como a colocação de válvulas anti-poluição de forma a evitar o contacto destas duas origens de água, a adoção de sinalética indicativa de ApR prevista na legislação e ainda proceder a todas as adaptações necessárias nas ETAR. Assim, associa-se um elevado custo económico e transtornos logísticos inerentes à execução de uma obra de elevadas dimensões, em particular em grandes centros urbanos como é o caso do município do Porto;

- As zonas de maior *stress* hídrico e com maior necessidade de irrigação para uso agrícola são, tendencialmente, afastadas dos grandes centros urbanos sendo, por isso, nestes casos, necessária uma grande extensão de rede distribuição o que aumenta os custos nestes locais.

2.1.1.2 Dessalinização

O processo de dessalinização pretende eliminar os minerais da água do mar através de processo físicos e químicos tendo sido utilizado, durante vários anos, exclusivamente, por navios e submarinos.

A dessalinização ocorre de forma natural durante o ciclo da água no momento em que se dá a evaporação da água do mar sendo que a água condensada é doce deixando o sal no mar.

Estima-se em que em todo o mundo existam 16 000 instalações capazes de promover este processo. O primeiro país a implementar esta operação de forma massiva foi a Austrália onde se verificou um longo e devastador período de seca.

Existem diversas tecnologias que permitem a realização deste processo, sendo estas descritas seguidamente:

- Osmose inversa (tecnologia de membranas) - este é o processo mais utilizado e o que consome menos energia. Consiste na utilização de membranas semipermeáveis pelas quais a água atravessa ficando retidos os sais, microrganismos e impurezas. Este processo não necessita de qualquer transformação química ou biológica, estando apenas dependente da dimensão dos poros e da pressão do sistema. Para este tratamento é necessário um ajuste prévio de pH e remover os sólidos biológicos de maior dimensão. A água pode, facilmente, ser contaminadas por bactérias presentes nas membranas pelo que deve ser sujeita a um tratamento final adaptado à sua utilização. A Figura 3 apresenta um esquema ilustrativo da osmose e osmose inversa para melhor compreensão da diferença entre ambos os processos;

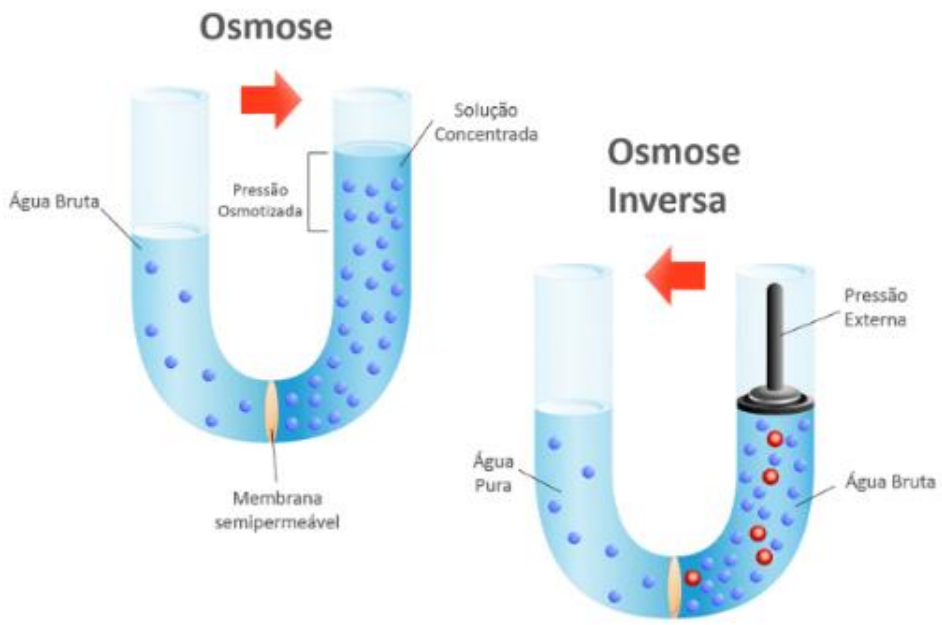


Figura 3- Esquema explicativo da diferença entre osmose e osmose inversa. [17]

- Nanofiltração – Esta é uma tecnologia semelhante à osmose inversa, sendo que neste processo são utilizadas membranas de nanotubos com maior permeabilidade o que permite processar uma maior quantidade de água num menor espaço e utilizando menos energia. As membranas são fabricadas com compostos sulfonados que removem não só o sal, mas também vestígios de poluentes;
- Destilação Solar – Este processo é o mais semelhante ao que ocorre no ciclo da água e dá-se quando, em grandes infraestruturas cobertas, a água do mar evapora condensando e coletando a água doce. Este processo tem como fonte de energia a luz solar tornando-se assim mais económico, no entanto, é necessária uma grande área para instalação das infraestruturas;
- Eletrodiálise – Este é um processo que recorre também à utilização de membranas. No entanto, neste caso, ocorre a separação eletroquímica através de membranas carregada eletricamente que tornam possível a retenção dos iões de sal dissolvidos tendo a água doce como produto final. Apesar deste processo ser frequentemente utilizado para alguns tipos de água, é desaconselhado para águas cujas concentrações de cloretos sejam elevadas uma vez que seria necessária a utilização de uma grande quantidade de energia;
- Formação de hidratos gasosos – Os hidratos gasosos são cristais que se formam através da reação entre a água e um gás (como o propano) em condições de

elevadas pressão e temperatura. Neste processo é possível retirar os sais e impurezas presentes na água.

Apesar das claras vantagens apresentadas pelos vários processos associados à dessalinização principalmente em zonas costeiras, destacam-se também algumas desvantagens. Destaca-se o facto de o resíduo resultante ser salmoura, água residual com elevada concentração de sal e poluentes, que acaba, muitas vezes, devolvida aos oceanos provocando graves destabilizações dos ecossistemas. Associa-se ainda a necessidade de um grande consumo energético e/ou elevadas áreas para instalação das infraestruturas. [18]

2.1.2 Soluções descentralizadas

2.1.2.1 Reutilização de águas cinzentas

As águas cinzentas são águas residuais domésticas sem águas fecais oriundas de banheiras, duches, lavatórios, lavagem de roupas e cozinhas.

Num sistema de aproveitamento das águas cinzentas pretende-se que estas águas voltem a ser utilizadas no edifício. Esta água pode necessitar ou dispensar tratamento dependendo da qualidade necessária para as utilizações.

O número de instalações de reutilização de águas cinzentas é ainda reduzido em Portugal, mas esta prática torna-se mais expressivo em países como Alemanha, Inglaterra e França.

A reutilização pode ter diversos fins, sendo a utilização mais frequente a descarga em bacias sanitárias, mas pode ser também aplicada para rega, por exemplo. Neste último caso não se aconselha a rega de produtos suscetíveis de serem consumidos a cru com águas provenientes de cozinhas.

Existem diversos sistemas que permitem esta reutilização, no entanto, a reutilização da água dos banhos é frequentemente aplicada pela população recorrendo a formas simples de captura de água de modo a poupar água potável.

De entre os vários usos, estima-se, segundo a literatura, que 25 a 35 litros do total do consumo diário de água por habitante que resultam em águas cinzentas possam ser reutilizados para descarga de autoclismos. Estas estimativas poderão ser bastante expressivas em hotéis e similares, escolas e instalações desportivas nas quais a poupança de água potável em exclusivo para este uso já se mostraria significativa.

As águas provenientes de banhos e duches apresentam uma maior biodegradabilidade resultante de produtos de higiene pessoal e partículas de pele. Esta característica impõe a necessidade de efetuar um tratamento com alguma celeridade de forma a evitar processos de decomposição envolvendo sulfatos e odores desagradáveis. Por outro lado, das máquinas de lavar a roupa resultam águas mais poluídas, sendo as águas resultante da cozinha (lava-loiça e máquina de lavar a loiça) as mais contaminadas.

Quando em comparação com as águas residuais totais, as águas cinzentas apresentam menos nutrientes (fósforo e azoto) e menos coliformes totais.

A Figura 4 ilustra um sistema de reutilização de águas cinzentas no qual a água proveniente do lavatório de uma casa-de-banho e de uma máquina de lavar a roupa passa por um processo de filtração e é reutilizada para descarga de autoclismos e para rega.

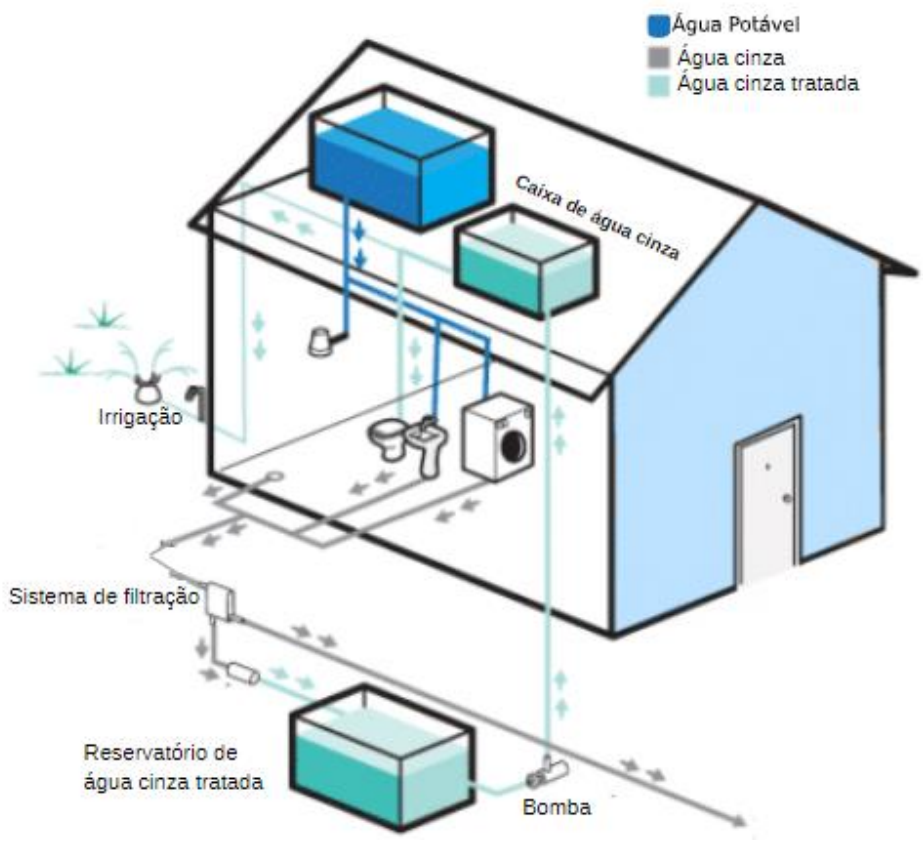


Figura 4- Esquema de um Sistema de Reutilização de Águas Cinzentas. [19]

Relativamente à qualidade necessária, o tratamento deverá depender da utilização final, no entanto esta água não deverá apresentar matéria em suspensão, coloração ou odor mesmo após vários dias de armazenamento.

Um sistema completo de reaproveitamento de águas cinzentas contém etapas de pré-filtração (retenção das partículas de maior dimensão), tratamento biológico em dois estágios (promoção da degradação da matéria biodegradável por processos metabólicos), sedimentação (remoção das lamas ativadas originadas no tratamento anterior) e desinfeção por ultravioletas permitindo o armazenamento da água tratada sem a criação de odores. [20]

2.1.2.2 Aproveitamento de águas pluviais

Apesar da imprevisibilidade associada à quantidade e periodicidade associadas à pluviosidade, esta pode ser uma fonte de água alternativa dada a autonomia e facilidade de aplicação disponível para todos os utilizadores.

Os sistemas de aproveitamento das águas das chuvas são possíveis soluções de aplicação em edifícios. A Figura 5 seguinte ilustra um sistema no qual a água é captada na cobertura do edifício, filtrada e posteriormente descarregada num reservatório a partir do qual será posteriormente elevada para utilização.



Figura 5- Esquema de um Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais. [20]

Este é apenas um exemplo ilustrativo sendo também possível recorrer a outras superfícies de captação tais como terraços. Este caso apresenta um reservatório no sótão sendo que maioritariamente não existe este reservatório havendo bombagem direta do reservatório inferior.

As águas pluviais podem ter diversas utilizações, entre as quais utilização em sanitas, lavagem de pavimentos e automóveis, rega de zonas verdes, arrefecimento de torres, redes de incêndio e sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC).

Estes sistemas proporcionam tratamentos de filtragem (no filtro a montante) e de sedimentação (no reservatório).

Relativamente às exigências relativas à qualidade estas variam em função da utilização. Assim, para a rega de zonas verdes e lavagem de pavimentos a água pode não necessitar de tratamento adicional. Por outro lado, para descargas em sanitários é necessário garantir que a qualidade respeita, pelo menos, as normas aplicáveis a águas balneares.

Caso seja necessário aplicar um procedimento de desinfeção, a mesma poderá ser realizada recorrendo a radiação UV, cloro ou outros processos.

Deve ainda ter-se em consideração o valor de pH garantindo que não excede o valor de 8,5 nem é inferior a 6,5. De igual modo, deve considerar-se a aplicação de tratamentos suplementares em zonas poluídas e em regiões com elevada libertação de pólen.

A qualidade da água no reservatório deve ser controlada com uma periodicidade máxima de seis meses podendo ser alargada para um ano caso o seu abastecimento seja efetuado unicamente com água potável. [20]

2.2 Estado de arte

2.2.1 Contexto internacional

Tem-se demonstrado clara a necessidade de adotar uma abordagem integrada de gestão da água, promovendo o seu uso sustentável.

Sendo elevado o número de regiões afetadas pela escassez de água em todo o mundo, surgem também vários exemplos de sucesso no que diz respeito à poupança de água potável. Uma das alterações bastante estudada e implementada nos últimos anos passa pela reutilização de águas residuais que, para além de diminuir os volumes de água

captados do ecossistema, permite ainda a diminuição da quantidade de descargas de águas residuais efetuadas no ecossistema e a promoção da circularidade dos produtos.

Um dos exemplos de relevo no que concerne à gestão de água é Israel, sendo este um dos países do mundo onde se verifica maior *stress* hídrico, foi necessário encontrar soluções que permitissem, nomeadamente, um rápido crescimento económico. Para além desta, outras nações destacam-se no caminho para uma gestão eficiente dos recursos hídricos, sendo também referidos ao longo deste capítulo.

2.2.1.1 Austrália

A Austrália é um país com uma grande área, 7,7 milhões de km^2, apresentando uma baixa pluviosidade na maioria do seu território. Neste, tem-se sentido também a influência das alterações climáticas através da grande variabilidade de temperatura e pluviosidade.

A distribuição de pluviosidade no território não é equilibrada, sendo que a zona sul recebe menos de um terço da precipitação média verificada na zona norte. No centro verifica-se uma ampla zona árida que representa cerca de 70 % do território.

A Figura 6 apresenta a distribuição anual de pluviosidade no território australiano recorrendo a dados referentes a 30 anos, compreendidos entre 1961 e 1990.

A menor pluviosidade e persistência de temperaturas altas contribuem para taxas de evaporação muito elevadas. [21]

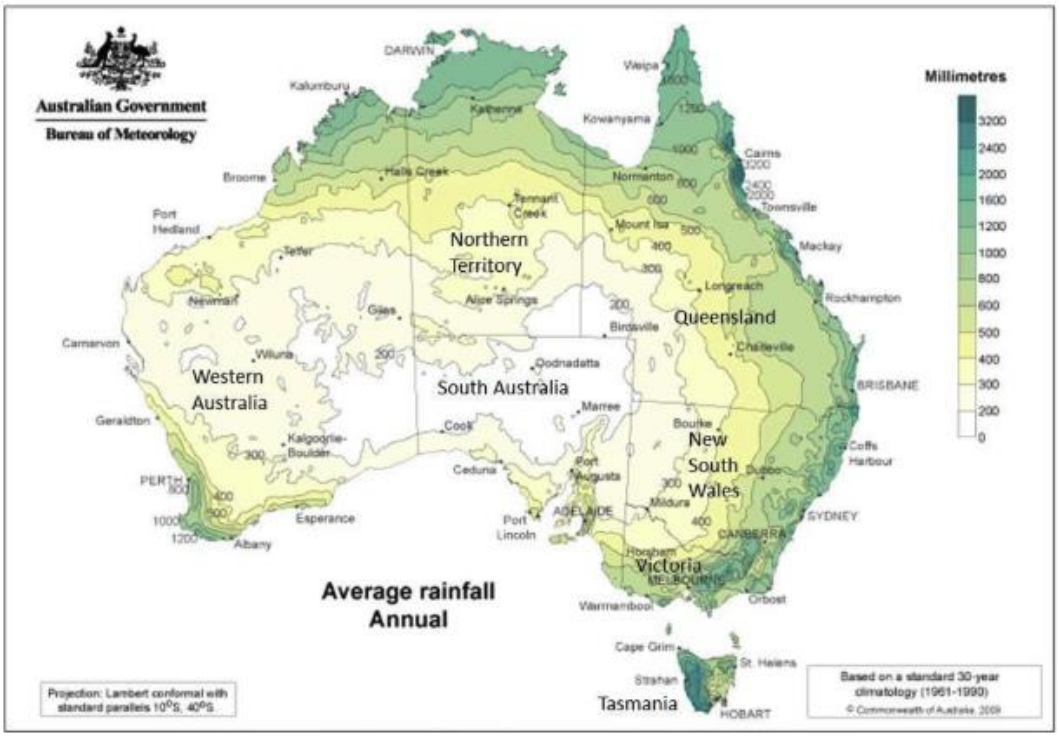


Figura 6- Distribuição da média anual de pluviosidade no território australiano. [21]

No início do milénio, entre os anos de 1996 e 2010, associaram-se todas estas condições que levaram a situações extremas como algumas restrições no uso de água tendo sido este período apelidado de "*Millennium Drought*" (Seca do Milénio).

Esta situação foi catalisadora de mudança tendo a Austrália unido esforços no sentido de assegurar o seu futuro hídrico.

Apesar da vasta dimensão da Austrália, as cidades a sudeste são as que vivem uma maior pressão demográfica com tendência crescente. Apesar da zona norte ter um maior acesso a água doce, não seria comportável criar linhas de abastecimento com cerca de 3 000 km entre esta zona e o sul do país.

A Austrália sentiu então uma necessidade de melhorar a eficiência da gestão das suas bacias hidrográficas e da água destinada a irrigação. Foi feito um investimento acentuado em instalações de dessalinização, no entanto esta solução é controversa dado o elevado custo energético e económico.

Durante o século passado surgiu uma necessidade crescente de utilização de águas subterrâneas. A utilização desta origem de água não era sustentável pelo ritmo elevado a que era extraído. Assim, 10 % das águas residuais tratadas passaram a ser bombeadas para

aquíferos pouco profundos de modo a sofrerem uma filtração e posterior armazenamento desta água.

A partir de 2018 a utilização de água residual tratada para irrigação e outros usos aumentou.

Paralelamente, a sociedade civil tornou-se cada vez mais atenta a esta necessidade, e, por isso, tem sido feito um trabalho de redução de utilização de água e de melhoria da eficiência do seu uso.

Atualmente, vários equipamentos são classificados e rotulados em função da sua eficiência hídrica, as habitações apresentam características de poupança de água como eletrodomésticos mais eficientes e, mais de um quarto das habitações tem a capacidade de recolher e armazenar águas pluviais para uso doméstico.

Na Figura 7 é apresentado um exemplo de um rótulo que permite ao consumidor perceber o consumo de água por minuto do equipamento em análise. Este é um modelo visual que permite uma escolha mais consciente por parte dos consumidores, tornando esta avaliação mais simples e intuitiva. No exemplo da Figura, o equipamento em análise apresenta uma classificação de quatro estrelas numa escala com o total de seis. Esquemas semelhantes de rotulagem têm sido adotados também noutras zonas do globo como em Singapura e Hong Kong.

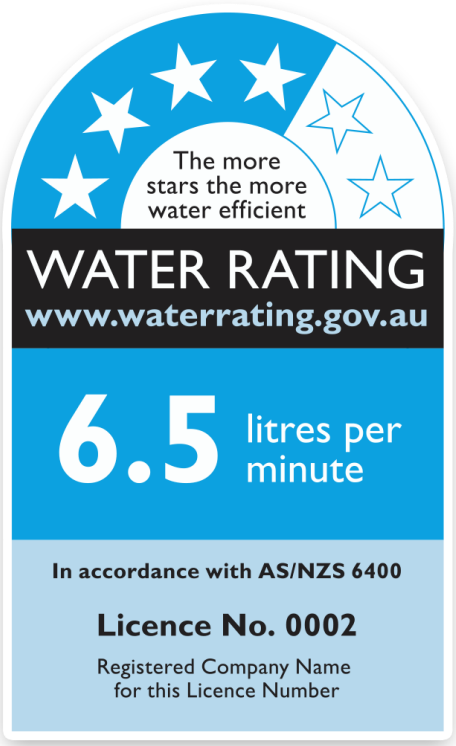


Figura 7- Exemplo de rótulo aplicado em equipamentos em função da sua eficiência hídrica. [22]

São ainda aplicados sistemas que permitem a reutilização de águas cinzentas como as provenientes de lavatórios e chuveiros, retirando alguma pressão do sistema de abastecimento para usos não potáveis.

Na Austrália verifica-se uma forte cultura de vivência ao ar livre que estava associada a uma média diária de consumo de 340 litros por habitante. Foram impostas medidas restritivas em relação à sua utilização de água, sendo que em algumas cidades as regras foram aplicadas de forma permanente e resultaram já numa diminuição para um consumo diário de 155 litros por habitante.

Dada a extensão do país, em algumas zonas remotas verifica-se uma grande dependência de águas pluviais e subterrâneas. Nestes casos, o abastecimento é feito, em situações de emergência, por camiões ou a partir de reservatórios a longas distâncias. As soluções têm também vindo da inovação científica que, por exemplo, numa pequena cidade, possibilitou a instalação de dez painéis hidroelétricos capazes de extrair humidade do ar suficiente para abastecer uma escola com 1 500 litros de água mensais. Dadas as características meteorológicas da região, estima-se que em zonas rurais isoladas esta possa ser uma solução viável capaz de garantir o abastecimento de água em contexto habitacional.

Considerando a elevada pegada hídrica do setor agrícola associado a um consumo de cerca de 70 % deste recurso, foram criados vários planos que promovem uma gestão hídrica mais eficiente e, em algumas zonas, os direitos hídricos dos terrenos foram adquiridos pelo governo de modo a garantir que 60 % da água presente nas bacias seria utilizada em benefício do ambiente, promovendo uma visão de sustentabilidade hídrica a longo prazo.
Ainda relacionado com o setor agrícola, verificou-se um incentivo económico a escolhas mais eficientes como a rega gota-a-gota, a criação de valas que circundam os terrenos agrícolas de modo a evitar a perda de água (comumente designado pelo termo inglês *swales*) e a escolha de culturas que necessitem de menos água para a sua produção. [23]
A crescente consciencialização social para este tema, o investimento em infraestruturas, políticas, inovação e conservação deste recurso tem permitido melhorar a segurança hídrica da Austrália.

2.2.1.2 Singapura

Singapura destaca-se pela sua resiliência uma vez que, por causas históricas, há cerca de 50 anos era um país sujo, poluído, sem condições sanitárias e uma elevada taxa de desemprego. Tendo a oportunidade de desenvolver novamente a região, recorreram a um planeamento sustentável conseguindo aliar o crescimento económico ao ambiental e social, resultando na criação de uma região moderna e verde.
Nos dias de hoje, Singapura é uma comunidade sustentável com elevada qualidade de ar, extensos espaços verdes, uma fauna mais rica e um sistema de fornecimento de água robusto e eficiente. Singapura ficou classificada em quarto lugar mundial no Índice de Cidades Sustentáveis 2018 e foi considerada a cidade mais sustentável na Ásia.
O desenvolvimento económico é cuidadoso de forma a não sacrificar a qualidade ambiental. Assim, Singapura é considerada "A Cidade num jardim" com cerca de 50 % de cobertura ajardinada e 72 hectares de telhados e paredes verdes.
O desenvolvimento sustentável de Singapura é assente em três pilares principais, sendo eles:

- Abordagem integrada e um planeamento a longo prazo;
- Investimento em investigação e desenvolvimento de soluções inovadoras;
- Criação de parcerias.

Relativamente à gestão de água, Singapura, em 1960, atravessou um período de secas frequentes tendo sido necessário racionar o fornecimento de água. Atualmente, Singapura está entre as nações cujo *stress* hídrico se espera mais elevado em 2040. No entanto, com um correto plano de gestão hídrica verifica-se um aumento da área de captação e outras formas de recuperação de água sendo que, atualmente, a água provém de quatro fontes: água proveniente de bacias hidrográficas e águas pluviais, água importada, água residual tratada com grande qualidade (*NEWater*) e água dessalinizada.

Tem-se procurado aumentar a área de captação das águas pluviais, tendo passado de metade para dois terços da área do seu território, em 2011, com a construção de infraestruturas que permitem esta recolha e o aumento de espaços verdes. Foi feito um esforço para que estas infraestruturas estejam em harmonia com o crescimento da região, nomeadamente servindo como atrações turísticas. O *Gardens by the Bay,* apresentado na Figura 8 é um desses exemplos, funcionando como uma forma de armazenamento de águas pluviais, desenvolvimento do ecossistema e uma atração turística pelas atividades que promove e pelo conforto térmico que traz aos seus visitantes. Este é um exemplo de infraestrutura no qual se dá destaque a zonas verdes que se conectam e harmonizam com a tecnologia no sentido de uma gestão eficiente.



Figura 8- Imagem ilustrativa da atração *Gardens By the Bay,* em Singapura. [24]

Relativamente à água importada, estabeleceram-se acordos desde 1961 com o Governo do Estado de Johor, na Malásia, no sentido de importar parte da água consumida em Singapura. Este acordo estará em vigor, pelo menos, até ao ano de 2061.

Paralelamente, verifica-se uma melhoria considerável da qualidade da água o que tem trazido animais de volta às linhas de água. Espera-se que a água reutilizada e proveniente de dessalinização satisfaça 85 % das necessidades de água em Singapura.

Tem sido feita uma grande aposta em investigação e desenvolvimento de modo a aliar a tecnologia às necessidades da população. Um desses exemplos é a *NEWater*, a água residual tratada de alta qualidade que recorre a tecnologia de membranas e desinfeção por radiação ultravioleta de modo a torná-la potável. Esta água foi analisada mais de 150 000 vezes tendo sido os índices de qualidade assegurados em todas elas e cumprindo os requisitos impostos pela Organização Mundial de Saúde. [25]

Assente no mote "Cada gota conta" pelo qual a gestão de água se rege, procura-se um decréscimo no consumo de água. Atualmente, a necessidade diária de água é correspondente à quantidade necessária para encher 782 piscinas olímpicas, sendo que o consumo doméstico corresponde a 45 % dessa quantidade. Apesar do aumento do consumo de água devido ao crescimento populacional, tem sido feito um trabalho de consciencialização resultando numa diminuição deste consumo. No ano de 2000 o consumo de água médio diário *per capita* era de 165 litros, em 2018 de 141 litros e o objetivo é que este valor decresça para 130 litros em 2030. [26]

Relativamente à vertente económica, Singapura implementou, recentemente, um imposto relativo ao carbono de modo a incentivar uma economia de baixo consumo carbónico. Desde 2019 têm sido adotadas medidas no sentido de reduzir o desperdício no que diz respeito à gestão de recursos o que contribui para a transição para a economia circular.

2.2.1.3 China

À semelhança do que acontece em Singapura, de outros países surgem exemplos de respostas inovadoras que promovem a harmonização entre o ser humano e a natureza. As soluções baseadas na natureza (*nature-based solutions*- NBS) replicam o comportamento natural de modo a contribuir para a melhoria da gestão de sistemas, nomeadamente de água. [27]

Estas adaptações permitem não só reduzir o impacte das cheias e inundações como ainda promover o armazenamento de água nos aquíferos e, no caso das infraestruturas para acumulação de água, armazenar água que pode ser utilizada para rega e lavagens, por exemplo.

Surge assim o conceito de "cidade-esponja" no qual se pretende incorporar o ciclo da água no ordenamento dos espaços urbanos. Estas soluções podem passar pela inclusão de pavimentos permeáveis, pela criação de jardins e espaços verdes, a adoção de coberturas vegetais nos edifícios e ainda a criação de bacias de retenção e jardins alagáveis nos pontos altos das cidades de modo a evitar grandes escorrências de água em curtos períodos. [28]

A cidade ribeirinha de Taizhou, na China, tinha um historial de cheias. Em 2002 um arquiteto paisagista responsável pela remodelação do parque que separa a cidade do rio decidiu promover a sua transição, passando de um parque com grandes barreiras de betão para um parque verde e com capacidade de absorção de água. Combinando locais de armazenamento de água e desenvolvimento de habitats com infraestruturas de lazer foi possível criar um parque capaz de servir a comunidade e minimizar a possibilidade de inundações na cidade. [29]

2.2.1.4 Israel

Israel é um país semiárido com recurso de água natural insuficiente. Esta era uma zona fustigada por períodos de seca, sendo até motivo de conflito na região. Atualmente, o país aposta em dessalinização e reutilização de águas residuais, sendo uma referência mundial nesta área. O país passou assim de uma situação de risco em termos hídricos para uma realidade de abundância de água tendo mais do que a atualmente necessária. Deste modo, alcançaram a independência hídrica que foi, no contexto de conflito em que se insere no Médio Oriente, fundamental para alcançar um clima de paz no que concerne ao tema da água. [30]

Em apenas dez anos, Israel construiu cinco centrais de dessalinização ao longo da costa banhada pelo Mar Mediterrâneo na zona de Telavive. Estas centrais fornecem cerca de 50 % da água potável consumida em Israel.

De modo a assegurar uma quantidade de água suficiente foram implementadas políticas que promovem uma melhor gestão deste recurso e foi feito ainda um grande investimento

em infraestruturas. Destacam-se medidas como a redução do consumo de água potável *per capita*, utilização de água em culturas de maior valor, utilização de aquíferos como reservatórios com recarga dos mesmos com águas residuais tratadas, reutilização de águas residuais tratadas para irrigação (encaminhando a água doce potável para utilizações domésticas e industriais).

Do total dos efluentes de águas residuais tratados, mais de 87 % são reutilizados para agricultura, representando cerca de metade de toda a água destinada a irrigação a nível nacional. Paralelamente, a dessalinização em grande escala permite o fornecimento da quase totalidade da água potável necessária para os serviços municipais.

Destaca-se ainda a otimização de um sistema nacional de transporte de água que melhora a sua distribuição a partir de várias fontes em função da procura.

A par de todas as alterações técnicas, foram feitas, ao longo dos últimos 15 anos, reformas legais e institucionais que pretendem, nomeadamente, promover a sustentabilidade financeira do setor da água através da alteração dos princípios de tarifação. Neste âmbito, foi ainda estabelecido um regulador nacional.

O conjunto de todas estas medidas, principalmente a reutilização das águas residuais, a dessalinização da água do mar e a alteração do quadro legal, permitiram a Israel não só alcançar uma maior estabilidade no fornecimento da água, como também reduzir a sobre exploração dos aquíferos.

Na Figura 9 retirada do relatório *Water Management in Israel* é possível comparar as fontes de água utilizadas desde 1985 até 2014, sendo percetível que em 1985 a água reutilizada representava uma pequena percentagem do total da água utilizada no país. Ao longo dos anos, a água dessalinizada ganhou espaço, sendo que em 2014 o conjunto da água reutilizada e dessalinizada representava já perto de 50 % do total da água consumida.

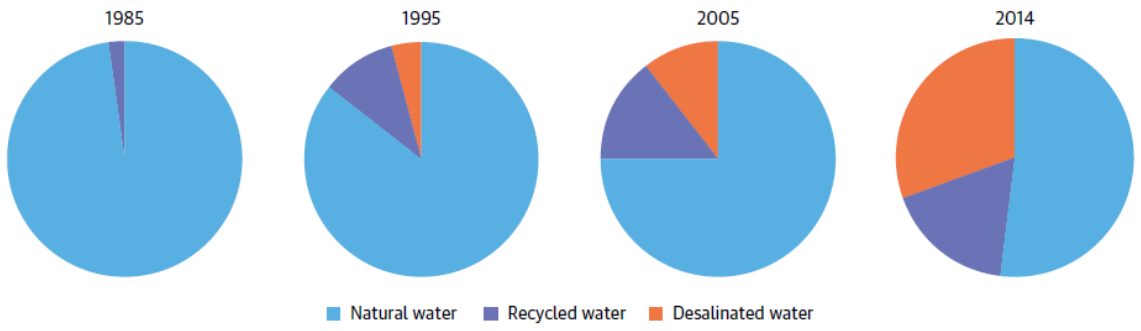


Figura 9- Fontes de água em Israel entre 1985 e 2014. [31]

Israel é assim um exemplo claro de que é possível utilizar momentos de crise como impulsionadores de mudança, uma vez que foram as várias secas que reforçaram junto dos decisores políticos a necessidade de proceder a alterações significativas. Um marco importante foi a criação da Autoridade de Água de Israel, em 2007, uma agência governamental responsável pelo planeamento e regulação que permite a articulação entre o nível político responsável e o nível técnico que gere o setor.

Após vários anos de investimentos, o setor de água alcançou a autonomia financeira quase total, excluindo apenas a reutilização de águas residuais que são ainda dependentes de financiamentos. As despesas inerentes à exploração do setor são agora garantidas pelo pagamento de tarifas por parte dos clientes. O país é, atualmente, capaz de satisfazer uma procura mais intensa que surja futuramente por parte de múltiplos utilizadores. [32]

Ainda em Israel, em Shafdan, surge o exemplo da estação de tratamento de águas residuais que permite um tratamento terciário recorrendo a aquíferos. Após o tratamento secundário realizado na ETAR, o efluente é encaminhado para aquíferos, conforme demonstrado na Figura 10, sendo aí filtrado através de areais, este processo tem a denominação *Soil Aquifer Treatment (SAT)* em inglês. O aquífero é alimentado pela sua área superior, passando graviticamente pelas areias que realizam o processo de filtração. Ao longo do processo há pontos de amostragem de forma a garantir a qualidade do efluente resultante. De forma a evitar a contaminação das águas limpas existe uma separação entre a água a ser tratada e a água do aquífero. Esta separação é conseguida através da formação de um canal artificial que promove a diferença de nível impedindo a disseminação desta água.

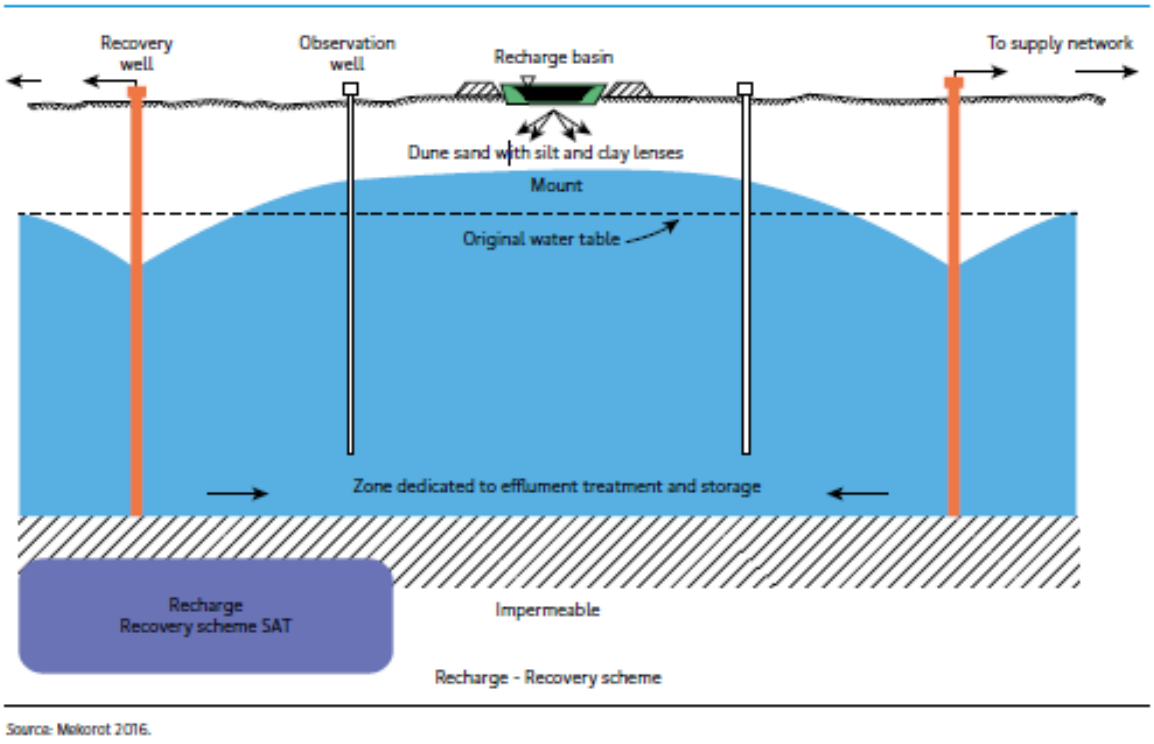


Figura 10- Esquema ilustrativo do tratamento de águas residuais em aquífero. [31]

Posteriormente, a água tratada é bombeada para um poço periférico e encaminhada para o Negev (a uma distância de cerca de 100 km), sendo armazenada durante um período compreendido entre seis e doze meses. O elevado padrão de qualidade obtido permite a irrigação de todos os tipos de culturas agrícolas sem riscos associados para a saúde pública.

A ETAR de Shafdan é assim capaz de fornecer cerca de 140 milhões de m^3 de água ao deserto do Negev.

Foi assim possível transformar uma zona árida numa fonte de rendimento com plantações de culturas de alto valor acrescentado como vinhas, tomate de pequenas dimensões e culturas de corais (para a indústria biomédica).

A Figura 11 ilustra uma plantação de vinhas para produção de vinhos no deserto de Negev.



Figura 11- Plantação de vinhas em Negev. [33]

De forma a incentivar os produtores a utilizarem esta fonte de água, foram implementadas políticas que promovem a utilização de águas residuais tratadas em substituição da água potável utilizada para abastecimento até então. O preço das águas residuais tratadas para irrigação é de cerca de US$ 0,3 (dólar americano, cerca de 0,30 €) por m^3, o que representa menos de metade da tarifa de água de abastecimento para agricultura que é de US$ 0,66 por m^3. Esta diferença de preços é possível devido a um grande investimento em subsídios destinados ao tratamento e armazenamento de águas residuais. Foram construídos cerca de 400 reservatórios que permitem armazenar as águas residuais tratadas produzidas durante todo o ano e utilizadas, em maior quantidade, durante o período de verão. Como um incentivo complementar aos agricultores, foi oferecida a conversão das suas infraestruturas destinadas a água de abastecimento para reservatórios de água residual tratada, promovendo ainda um aumento de 20 % do volume total destes reservatórios. [32] Os aquíferos passaram assim de fontes de água sobre exploradas, para grandes reservatórios naturais de água que têm ainda a capacidade de evitar elevadas taxas de evaporação.

De forma a manter a sustentabilidade do setor, os agricultores foram incentivados a investir em culturas de maior valor, de modo a aumentarem a rentabilidade das suas produções. Assim, e associado a tecnologias de irrigação mais eficientes e ao acesso a água

residual tratada, a produtividade da água utilizada (o lucro proveniente de cada unidade de água utilizada) tem vindo a aumentar.

Todas estas medidas promovem a efetiva utilização desta fonte de água através de uma mudança de paradigma assente em pilares sustentáveis económica, ambiental e socialmente.

Uma lição fundamental apreendida com o exemplo de Israel é que não bastou fazer elevados investimentos em infraestruturas, foi essencial consciencializar a população e adotar medidas de gestão para que os projetos resultem em soluções de sucesso.

2.2.2 Contexto nacional

A necessidade de mudança de paradigma tem sido sentida também a nível nacional.

Para além das consequências que advêm de situações de seca, encontram-se também erros de gestão para os quais têm sido feitos esforços no sentido de os colmatar. Assim, neste capítulo, serão apresentados exemplos de projetos desenvolvidos e aplicados a nível nacional que têm permitido a poupança de água potável.

Para além dos exemplos que serão seguidamente apresentados, muitas outras regiões do país poderiam beneficiar destes projetos capazes de melhorar não só a gestão hídrica como também potenciar o desenvolvimento económico e social destas zonas. No capítulo 2.3 será descrita uma dessas possíveis aplicações na zona de influência da barragem do Alqueva recorrendo a água residual proveniente da Grande Lisboa.

2.2.2.1 Arquipélago da Madeira

O arquipélago da Madeira surge como um desses exemplos. A orografia do terreno e a produção agrícola histórica na região levaram à criação de uma rede de regadio. Atualmente, esta é gerida pela empresa pública Águas e Resíduos da Madeira, S.A. (ARM).

Segundo dados referentes ao ano de 2021, o sistema de regadio público da ilha integra uma rede com cerca de 2 800 km de canais de adução e distribuição de água, serve mais de 40 700 regantes, beneficiando mais de 42 300 parcelas agrícolas que ocupam uma área superior a 5 000 hectares distribuídos por 8 subsistemas de regadio. [34]

A Figura 12 representa a distribuição de rede de regadio pela ilha da Madeira, assim como a localização e legenda dos seus 8 subsistemas.



Figura 12- Rede de regadio na ilha da Madeira e distribuição dos seus 8 subsistemas. [34]

A água é distribuída, recorrentemente, através de levadas. As levadas são características da ilha da Madeira e surgiram no século XV com o objetivo de distribuir as águas pluviais captadas nas zonas mais húmidas e com maior precipitação, no norte da ilha, até à zona sul da mesma onde o clima é mais seco, e assim tornar possível produção de cana-de-açúcar. Estes canais de irrigação destinados à condução de água entre várias zonas, são acompanhados de caminhos pedonais e são, atualmente, uma atração turística, existindo cerca de 200 espalhados por toda a ilha.

A Figura 13 apresenta um exemplo de uma levada onde é visível o canal que conduz a água e o caminho que ladeia. Este exemplo, o da Levada do Rei, com cerca de 5 km, situa-se na zona de São Jorge, representada pelo ponto cinza e por uma linha amarela entre as zonas H05 e H06 na imagem anterior.



Figura 13- Levada do Rei, Madeira. [35]

A distribuição da água para rega ocorre, normalmente, entre os meses de maio e outubro, no entanto, este período pode ser ajustado quando os anos hidrológicos assim justifiquem.

A origem da água para irrigação, em alguns dos sistemas é comum entre o sistema de abastecimento público e águas pluviais.

A ilha de Porto Santo surge também como um exemplo prático da aplicação de várias soluções de poupança de água potável. Nesta ilha a central dessalinizadora localizada no centro da cidade é a única origem de água potável utilizada para o abastecimento público. A matéria-prima é a água salgada proveniente do mar que, por intermédio de unidades de dessalinização por osmose inversa, se torna água potável. Esta instalação está dimensionada para produzir um caudal máximo diário de cerca de 6 300 m^3 que pretende fazer face não só às necessidades da população residente (cerca de 5 200 habitantes), mas também à população flutuante decorrente do turismo e outras atividades.

A recolha de água é feita através de quatro galerias subterrâneas que garantem uma água de qualidade elevada sendo assim evitáveis etapas de pré-tratamento como decantação e filtração comuns neste tipo de instalações.

Importa ainda referir que esta central utiliza um sistema de recuperação de energia através de permutadores de pressão que permite uma poupança energética na ordem dos 35 %. O consumo energético total da instalação sem a bombagem para a rede de distribuição é,

atualmente, de 3,5 kW/m^3. Tendo em consideração que o atual preço da energia é cerca de 0,14 €/kWh e multiplicando os dois valores conclui-se que o consumo energético representa um custo de 0,49 €/m^3. Atualmente, esta é a única dessalinizadora pública em Portugal.

O funcionamento desta solução teve início em 1980, há mais de 40 anos, quando o Governo Regional da Madeira procurou uma solução para a constante escassez de água potável na ilha, escassez essa que teria tendência a aumentar devido ao aumento de fluxo turístico. Esta ilha apresenta uma pluviosidade reduzida sendo que, quando comparada, por exemplo, com a ilha da Madeira, a sua precipitação média é 75 % inferior.

O sistema adutor de rega da ilha de Porto Santo apresenta dimensões significativamente menores dada a geografia desta ilha. Ainda assim, é composto por um açude para armazenamento de água, um reservatório intermédio, três estações elevatórias e cerca de 11 km de condutas adutoras. Neste caso a proveniência da água é um exemplo claro de formas de reaproveitamento, uma vez que a água pode ser de origem pluvial, sendo captada na zona central da ilha e direcionada para o açude situado na zona do Tanque; nas águas residuais tratadas na Estação de Tratamento de Águas Residuais da Ponta; e nas águas subterrâneas captadas através do furo situado junto ao hotel do Porto Santo e através das noras existentes também na zona do Tanque. Todas estas fontes de água estão ligadas ao açude ilustrado na Figura 14 de forma a promover o armazenamento de água. Esta água é, posteriormente, utilizada para rega agrícola e do campo de golfe. [34]



Figura 14- Açude destinado ao armazenamento de água na ilha de Porto Santo. [34]

2.2.2.2 Algarve

No Algarve tem-se verificado uma mudança de produtos cultivados, sendo que atualmente abunda a produção de citrinos, alfarroba e frutos vermelhos. São vários os desafios que surgem na região, entre os quais a escassez de água. Em 2020, tendo em conta o problema estrutural da seca e o expectável efeito provocado pelas alterações climáticas, foi determinada a elaboração dos Planos Regionais de Eficiência Hídrica para o Algarve e para o Alentejo.

Tendo em conta a urgência da problemática, têm sido estudadas soluções que vão desde a utilização de águas residuais à dessalinização.

Atualmente, apenas 3 % das águas residuais tratadas no Algarve são reutilizadas destinando-se à rega de espaços públicos e de campos de golfe. No entanto, existem muitas oportunidades a explorar. A Universidade do Algarve desenvolveu um estudo no qual é demonstrado que as águas residuais provenientes das Estações de Tratamento de Águas Residuais podem ser diretamente utilizadas para irrigação de pomares de citrinos. A água chega às plantas através de rega gota-a-gota e os frutos têm um efeito de filtro biológico. Deste modo, esta fonte de água não necessita de nenhum tratamento complementar uma vez que o consumo destes alimentos não acarreta quaisquer riscos

para a saúde dos consumidores. Esta alternativa apresenta ainda benefícios económicos e logísticos para os agricultores uma vez necessitarão de utilizar menos adubos, sendo que estes passarão a provir das águas residuais.

Está atualmente a ser também estudada a instalação de uma central dessalinizadora em Lagos ou Albufeira, com uma maior capacidade de produção de água doce sendo que se pretende atingir um potencial de produção para 24 hectometros cúbicos (24 000 000 m^3). Prevê-se um custo de 50 milhões de euros que deverá ser suportado pelo Plano de Recuperação e Resiliência que financia o Plano Regional de Eficiência do Algarve em 200 milhões de euros. [36]

2.2.2.3 Macedo de Cavaleiros

Macedo de Cavaleiros surge como um exemplo de esforço para melhoria dos seus indicadores. Este é um município com elevadas quantidades de perdas de água que tem utilizado a tecnologia como um aliado para a melhoria. Neste sentido, importa diferenciar perdas aparentes e perdas reais. As perdas aparentes são perdas não físicas, isto é, a água é consumida, no entanto não é devidamente faturada pela entidade gestora. Podem ocorrer consumos não autorizados como ligações ilícitas, erros de medição nos contadores de água ou erros de leitura, entre outros. Por outro lado, no caso das perdas reais estas são físicas e podem ocorrer devido a fugas nas condutas e ramais e por extravasamento nos reservatórios. São variados os motivos que podem provocar estas perdas como são o caso do desgaste das tubagens e as elevadas pressões e variações de pressão (noturna *versus* diurna) a que a rede está sujeita. [2]

Enquanto as perdas aparentes podem ter um impacte negativo a nível económico para a Entidade Gestora, às perdas reais acresce também o impacte na disponibilidade dos recursos hídricos.

No ano de 2020 foram perdidos, segundo o Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal realizado pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), 174 milhões de m^3 de água. Para além da perda de valor económico, está também associado o desperdício de um recurso cada vez mais valioso, a água, bem como a energia associada ao seu tratamento e transporte. De forma a reduzir os valores de perdas, várias entidades têm procurado soluções. Macedo de Cavaleiro, o segundo concelho com maior

perda de água, 77 %, tem trabalhado no sentido de reduzir este desperdício de água. Os esforços realizados passam pela substituição da rede de abastecimento composta por condutas com cerca de 40 anos e, consequentemente, danificadas, a instalação de cerca de 4 500 contadores de água para melhor monitorização do fluxo da mesma e estudos que pretendem localizar fugas de água, sendo realizados recorrendo a tecnologia de inspeção térmica através de sensores multiespectrais e térmicos instalados em drones e complementados por observações de georadar no solo. [37]

2.2.2.4 Lisboa – Águas do Tejo Atlântico

A empresa Águas do Tejo Atlântico, S.A. tem caminhado na lógica da economia circular do ciclo da água. Foi assim criado o conceito de "Fábrica de Água" referente à reciclagem de água residual com o objetivo de encaminhar para usos como agricultura, rega, lavagem de ruas, viaturas e equipamentos e outros usos na indústria. O termo "fábrica" surge associado à sua definição "estabelecimento industrial onde se transformam matérias-primas em produtos", pretendendo assim reforçar a ideia de que a água pode funcionar como uma matéria-prima, sendo não apenas uma forma de subsistência do ser humano e ecossistema, como também uma fonte de valorização.

Pretendem atingir a auto-suficiência destas "fábricas" (ETAR) através da recuperação e valorização dos subprodutos que resultam do tratamento de água, tais como a ApR (aproveitamento da água residual), o biogás (aproveitamento energético), biosólidos (valorização agrícola), bioplásticos e nutrientes (incorporados em novos processos produtivos).

No que se refere a ApR, o projeto entrou em funcionamento no ano de 2021 sendo que a água residual passa por um tratamento complementar de ultrafiltração e desinfeção, estando dimensionado para tratar 1 200 m^3 de água por dia, cerca de 2,2 % do volume total tratado na ETAR de Beirolas. [38]

No sentido de sensibilizar para a necessidade de mudança de paradigma, a empresa Águas e Tejo Atlântico, S.A. foi mais longe, tendo desenvolvido uma parceria com as empresas Moinhos de Água e Ambiente, Lda. e a Cervejeira Cerlinx no sentido da criação de uma cerveja produzida a partir de água residual tratada transformando-a em água potável com características de qualidade adequadas a esta utilização.

Assim, surgiu a Cerveja VIRA que teve como objetivo contribuir para a mudança de visão no que concerne à reutilização desta matéria-prima, dando um passo também no sentido do incentivo de boas-práticas ambientais.

O nome "VIRA" atribuído a este produto está diretamente relacionado com a sua missão, seguindo o propósito de "virar" conceitos, formas de pensar e comportamentos. [39]

O processo de fabrico compreende três etapas sendo elas as seguintes:

- Tratamento comum aplicado à água residual encaminhada para ETAR, sendo este efetuado pela empresa Águas do Tejo Atlântico;
- Tratamento complementar, ao qual foi atribuído o nome "Água +" (sendo o objetivo deste tratamento produzir água com qualidade adequada a cada finalidade), no qual a água é sujeita a um processo de oxidação com ozono procedendo à sua desinfeção, filtração recorrendo a osmose inversa removendo os sais, nutrientes, metais e micro-poluentes orgânicos e, por último, são efetuadas análises laboratoriais com o intuito de garantir uma qualidade de água compatível com usos potáveis. Esta fase do processo de produção é da responsabilidade da empresa Moinhos de Água e Ambiente;
- Produção da cerveja, fabricada pela empresa Cerlinx. [40]

Ao longo do processo foram produzidas duas variedades de cerveja, a VIRA *Blonde* e a VIRA *American IPA*, demonstrando assim que a água utilizada não limitou o decorrer de um comum processo de fabrico de cerveja.

Este projeto foi premiado, no ano de 2021, pela *Water Reuse Europe*, uma associação sem fins lucrativos que promove a reutilização de água, vencendo o seu prémio destinado à inovação. [41]

Na Figura 15 é apresentada uma imagem promocional da cerveja VIRA *Blonde*.



Figura 15- Imagem promocional cerveja VIRA. [43]

Após este projeto espera-se que os habitantes das zonas de influência desta empresa tenham maior abertura e uma maior sensação de segurança e confiança em relação à água residual tratada.

2.2.3 Contexto Município do Porto

Devido às suas características como a proximidade ao rio Douro, pluviosidade abundante e elevada humidade relativa, a cidade do Porto não apresenta, até ao momento, problemas relacionados com a escassez de água.

Paralelamente, há uma extensa bacia hidrográfica que permite a utilização de águas subterrâneas para utilizações como rega. A Figura 16 ilustra esta vasta bacia hidrográfica e identifica as suas diferentes zonas.

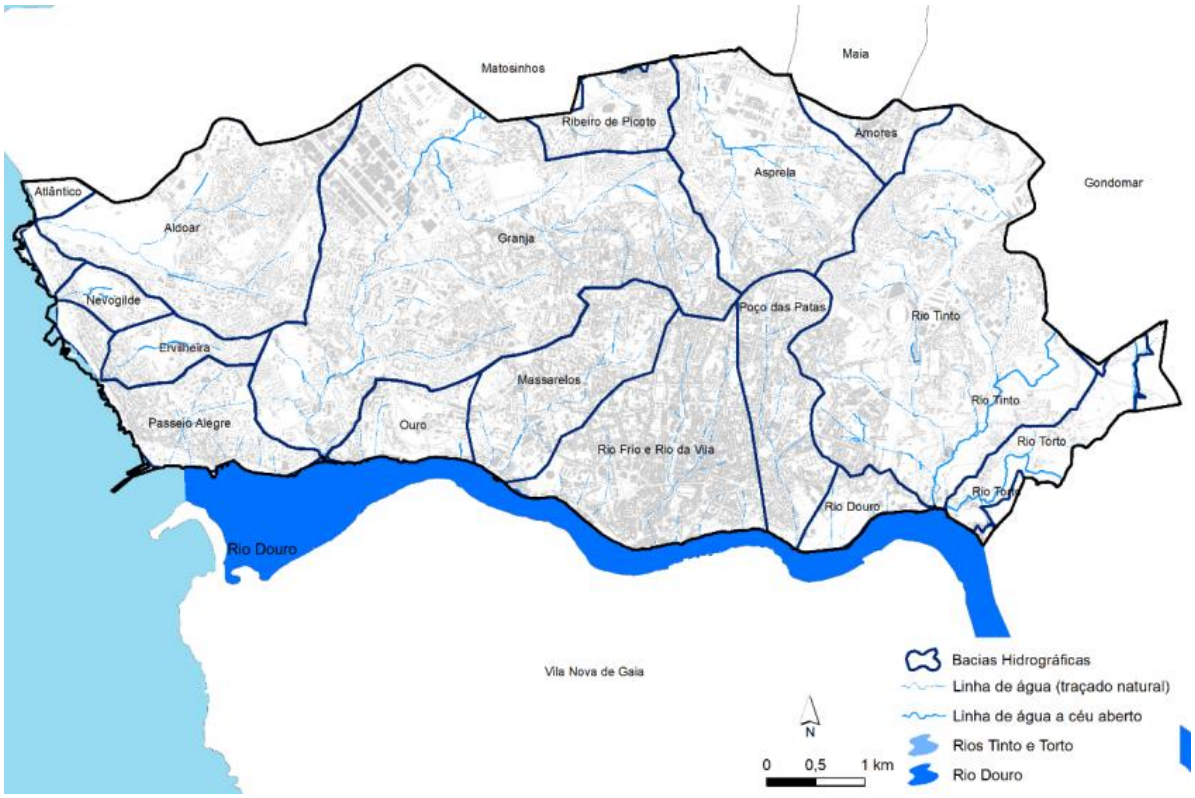


Figura 16- Rede hidrográfica e bacias hidrográficas do concelho do Porto. [42]

Este município destaca-se ainda pela reduzida percentagem de perdas de água, assunto que será detalhado no capítulo referente à empresa Águas e Energia do Porto, E.M.

Apesar destas características vantajosas, o Porto, à semelhança dos outros municípios, está exposto a desafios inerentes às alterações climáticas como a expectável redução da precipitação total anual e o potencial aumento das temperaturas, principalmente nos períodos de verão e outono, tornando-os mais secos. Projeta-se também o aumento da ocorrência de ondas de calor e eventos de precipitação intensa, como, inclusivamente, se tem verificado nos últimos meses. O facto do Porto se localizar numa zona costeira aumenta também os riscos associados à subida do nível médio do mar.

Neste sentido, foi criada, em 2016, a Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas que será descrita no âmbito do capítulo referente a "Planos e Estratégias".

O concelho do Porto atravessa outros desafios que se relacionam com as questões ambientais como a mobilidade, apostando em soluções como a expansão das linhas do Metro do Porto; a necessidade de melhorar a sua eficiência energética, tendo feito um investimento de nove milhões de euros para a melhoria energética da habitação social e eletrificando 70 % da frota automóvel municipal e substituição das tradicionais luminárias

de iluminação pública por novas luminárias de tecnologia LED; a necessidade de uma forte aposta na gestão mais eficiente dos resíduos apresentando uma taxa de reciclagem de 37 %, um valor percentual mais baixo do que a média nacional para 2020 sendo que a Diretiva Europeia determinou como objetivo para o mesmo ano uma taxa de 50 %. [43-44]

No ano de 2022 o município subscreveu a "Declaração de Compromisso para Adaptação e Mitigação das Alterações Climáticas nos Serviços de Águas" que visa estabelecer um compromisso para implementar medidas de adaptação e mitigação das mudanças climáticas no setor. Neste sentido, enquadra-se o plano de valorização e reabilitação das linhas de água do município que tem como objetivos promover a proteção e valorização dos rios e ribeiras da cidade e a criação de um novo enquadramento para as ETAR no qual se pretende que sejam vistas fábricas de recursos, não só pela reutilização da água, mas também pela valorização de subprodutos como as lamas. Pretende-se assim que sejam implementadas políticas que promovam a economia circular, a melhoria da eficiência hídrica e energética e a redução da vulnerabilidade face aos efeitos das alterações climáticas. [45]

O município tem ainda outras iniciativas para combater o desperdício alimentar como o "Projeto Orgânico" e o lançamento do concurso "Food Loop" que se destina a procurar ideias e projetos que contribuam para a mudança do sistema alimentar, privilegiando a redução do desperdício alimentar e uma alimentação mais sustentável e saudável.

Ainda a nível energético, e tendo em consideração não só a sustentabilidade ambiental, mas também a económica e social, dado o custo elevado da energia elétrica atualmente, a Câmara Municipal do Porto juntou-se à Agência de Energia do Porto tendo desenvolvido o Balcão Porto *Energy Hub*. Este Balcão presta, desde 12 de setembro de 2022, apoio técnico, legal e financeiro gratuito aos cidadãos e entidades que procurem soluções eficientes energeticamente e com recurso a energia renovável, promovendo o conforto térmico e mitigando a pobreza energética. [46]

Ao longo deste relatório será feita uma descrição mais exaustiva em relação à situação atual do município.

2.3 Gestão internacional aplicada ao contexto português

No sentido de compreender a possível adaptação das tecnologias e gestão implementadas a nível internacional, neste capítulo será efetuado um paralelismo entre o exemplo verificado em Israel e o contexto português. Será assim avaliada a possibilidade de utilizar a água residual produzida na Grande Lisboa noutras regiões, em particular na zona do Alqueva.

2.3.1 Capacidade de irrigação

Em Portugal, cerca de 600 milhões de m^3 de águas residuais tratadas são desperdiçados, anualmente, quando encaminhados para descarga sem qualquer valorização prévia. Este volume de água seria capaz de fazer face às necessidades de rega de todo o empreendimento do Alqueva (120 000 hectares).

A área metropolitana de Lisboa é densamente habitada apresentando, consequentemente, um elevado potencial de produção de águas residuais que, conforme demonstrado anteriormente, pode ser visto como um potencial de valorização. Apenas desta região da Grande Lisboa que compreende 9 concelhos (Amadora, Cascais, Lisboa, Loures, Mafra, Odivelas, Oeiras, Sintra e Vila Franca de Xira) resultam cerca de 200 milhões de m^3 de águas residuais, um terço do total nacional, que seria suficiente para irrigar 40 000 hectares de terreno.

Tendo em conta as necessidades hídricas sentidas na região do Alqueva devido à exploração agrícola do local e a sua grande dependência do regime de chuvas, surge a hipótese de, à semelhança do exemplo implementado em Israel, encaminhar a água residual tratada proveniente da zona de Lisboa para áreas de maior necessidade hídrica.

2.3.2 Valorização dos nutrientes

Relativamente aos nutrientes presentes nas águas residuais que não sofreram tratamento complementar, o azoto (N) e o fósforo (P) verificam-se em quantidades que, quando descarregados nas linhas de água, são considerados poluentes. No efluente proveniente de ETAR o azoto corresponde a uma quantidade compreendida entre 20 e 35 mg/L e o fósforo entre 5 e 20 mg/L. Inclusivamente, para a descarga em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização, estes valores têm de ser reduzidos decaindo para intervalos de 10-15 mg/L e

1-2 mg/L para o azoto e fósforo, respetivamente. Esta redução acarreta custos significativos. No entanto, em contexto agrícola, estes nutrientes são considerados fertilizantes. Tendo em consideração o facto de os fertilizantes estarem, na agricultura, associados a cerca de 25 % do custo de produção, e destes terem sofrido um aumento passando de 200 para 800 € por tonelada, devem avaliar-se estes componentes como potenciais de valorização económica e valorizar o facto de a utilização desta origem alternativa de água poder substituir parcialmente a utilização de fertilizantes. Em cerca de 200 milhões de m^3 de águas residuais tratadas na zona da Grande Lisboa é possível estarem contidos 60 000 toneladas de azoto e 30 000 toneladas de fósforo.

2.3.3 Viabilidade da instalação de rede adutora

Recorrendo a uma análise simplificada, apenas de modo a entender a viabilidade do projeto, estima-se que seria necessária uma conduta de 2,5 metros de diâmetros e uma extensão de cerca de 200 km para ligar a região de Lisboa ao Alqueva. Para esta instalação seria possível aproveitar caminhos-de-ferro, em alguns troços desativados, até à estação de Reguengos de Monsaraz e estradas que fazem parte do itinerário que liga as duas zonas (A12, A2, A6, N114, N256) possibilitando uma simplificada instalação de condutas havendo, inclusivamente, a possibilidade de as instalar à superfície. A Figura 17 localiza, no mapa, a linha de caminhos de ferro e as estradas que poderiam ser usadas como base de implementação da conduta não excluindo, em algumas zonas, a necessidade de recorrer a outros caminhos alternativos de modo a seguir um trajeto mais conveniente.

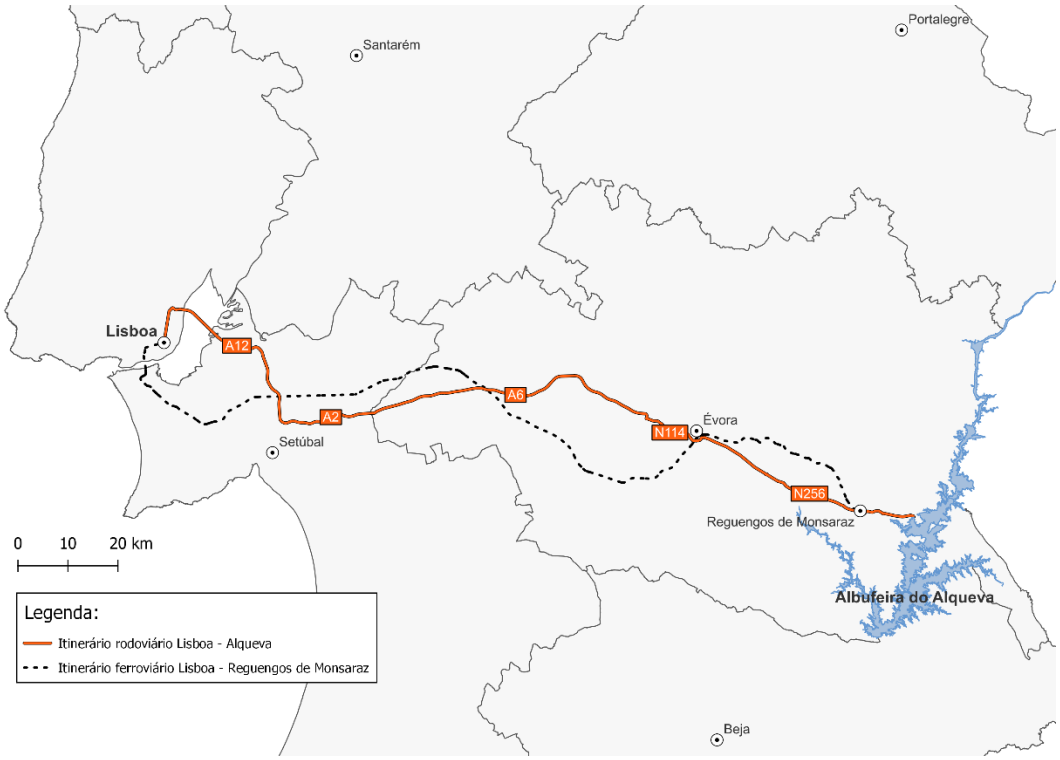


Figura 17- Itinerários que poderão funcionar como base para as condutas.

Idealmente, seria possível a utilização de água ao longo do percurso através de derivações, sendo o seu remanescente descarregado em barragens como a do Alqueva, contribuindo assim para a manutenção do seu nível hidrográfico.

Para a construção desta infraestrutura seria necessário um investimento de cerca de 500 milhões de euros. De forma contínua, seriam despendidos cerca de 0,15 €/m^3 sendo necessário 1 kWh/m^3.

Considera-se ainda a possibilidade da instalação da cobertura da conduta recorrendo a painéis solares, sendo esta extensão capaz de produzir energia suficiente para a bombagem de água. Paralelamente, poderia ser considerada a opção de otimização energética através da seleção de horas de bombagem aproveitando as horas de maior exposição solar, no entanto, esta escolha acarretaria a necessidade de instalação de reservatórios nas ETAR ou de aumento do diâmetro das condutas.

2.3.4 Possíveis zonas beneficiárias

Tendo em conta as características do terreno envolvente, o efluente poderia ser distribuído também para a zona do Oeste, Lezíria do Tejo e Ribatejo, áreas de produção agrícola, sobretudo de produtos hortícolas. A distribuição seria facilitada para a zona do Oeste uma

vez que a variação de altitude não é acentuada e se mantém, na maioria do percurso, a cotas relativamente baixas.

A Figura 18 apresenta, no mapa, as duas áreas que poderiam beneficiar deste projeto.

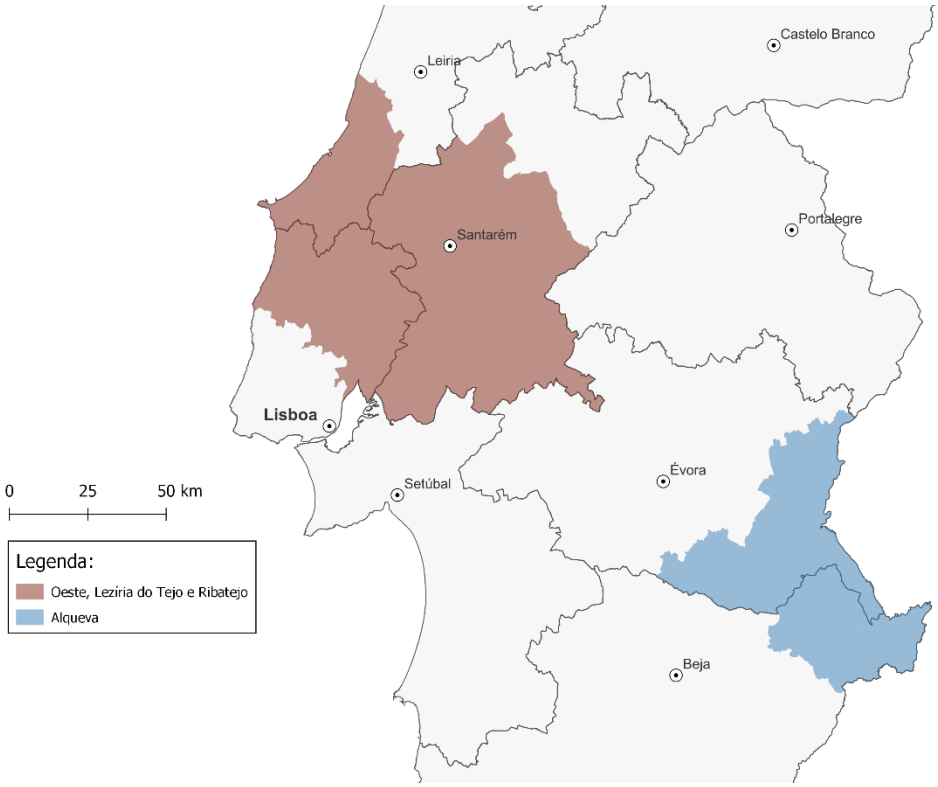


Figura 18- Possíveis áreas beneficiárias de um projeto de reutilização de águas residuais tratadas provenientes da Grande Lisboa.

2.3.5 Qualidade da água resultante

Para a produção desta origem alternativa de água, a sua proveniência poderia ser de várias Estações de Tratamento de Águas Residuais, tais como as localizadas na Nazaré, São Martinho do Porto, Torres Vedras, Alverca e Atouguia da Baleia.

Relativamente à qualidade, dados provenientes da literatura demonstram a qualidade obtida após o tratamento implementado em Israel. Cruzando esta informação com as exigências de qualidade apresentadas pela legislação portuguesa vigente para ApR, conforme apresentado na Tabela 1, conclui-se que a água produzida em Israel cumpre com os parâmetros mais exigentes estabelecidos em Portugal. [47-48] Deste modo, pode supor-se que os padrões de qualidade seriam também cumpridos caso este projeto fosse implementado segundo as condições descritas.

Tabela 1- Comparação entre a qualidade de água exigida pela legislação portuguesa e os valores obtidos após o tratamento realizado em Israel [21] [48]

	Parâmetros						
	CBO_5 (mg/L O_2)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	E. coli (ufc/100 mL)	Azoto amoniacal (mg NH_4^+/L) [1]	Azoto total (mg N/L) [1]	Fósforo total (mg P/L) [1]
Exigências Classe A Legislação Portuguesa	≤ 10	≤ 10	≤ 5	≤ 10	10	15	5
Valores obtidos em Israel	< 1	≈ 0	-	0	> 0,2	5 - 10	0,001 - 0,003

[1] Parâmetro facultativo. Poderá ser aplicável em alguns projetos de rega para minimização dos riscos de formação de biofilme e obstrução dos sistemas de rega.

2.3.6 Rentabilidade das culturas

À semelhança do que acontece em Israel, é essencial compreender quais as culturas mais rentáveis para que os recursos consumidos na produção agrícola representem retorno para o produtor e para o país. Na Tabela 2 são apresentadas as margens de lucro em função da área que as agriculturas ocupam na região do Alqueva, o seu valor de mercado, os custos operacionais e de instalação, e foi ainda considerada a amortização do investimento tendo em conta o tempo de vida útil das plantas.

De modo a efetuar os vários cálculos necessários foram retiradas informações fundamentais sobre algumas culturas produzidas na região do Anuário Agrícola de Alqueva 2021.

Assim, foram efetuados os cálculos apresentados nas seguintes fórmulas sendo os resultados apresentados na tabela que se segue.

$$Rendimento = Produtividade\ no\ Alqueva \times 1000 \times Valor\ do\ produto \quad \text{(equação 1)}$$

$$Margem = Rendimento - \left(\frac{Custo\ de\ instalação}{Amortização}\right) - Custos\ operacionais \quad \text{(equação 2)}$$

Tabela 2- Informações referentes a culturas no Alqueva e cálculo das margens de lucro [49]

Culturas	Área Alqueva (ha)	Área Portugal (ha)	Produtividade Alqueva (ton/ha)	Produtividade nacional (ton/ha)	Valor do Produto (€/kg)	Custos operacionais (€/ha)	Custo de instalação (€/ha)	Amortização (anos)	Rendimento (€/ha)	Margem (€/ha/ano)
Morango	0	808	60,00	29,10	3,90	85 000	350 000	20	234 000	131 500
Uva mesa	393	2 239	27,50	8,00	1,73	3 000	90 000	20	47 575	40 075
Maçã	36	14 313	33,00	20,00	0,72	5 500	16 000	20	23 760	17 460
Mirtilo	5	2 490	9,00	6,20	4,74	27 500	55 000	20	42 660	12 410
Pera	4	11 325	25,00	11,60	0,85	7 500	18 000	20	21 250	12 850
Amêndoa	19 466	52 344	2,50	0,60	4,00	4 000	8 000	20	10 000	5 600
Cebola	296	1 971	25,00	36,00	0,32	3 500	0	1	8 000	4 500
Melancia	684	684	32,50	40,60	0,30	5 500	0	1	9 750	4 250
Pimento	35	1 275	40,00	42,70	0,30	8 250	0	1	12 000	3 750
Damasco/ Alperce	143	517	5,50	6,30	1,80	5 500	10 000	20	9 900	3 900
Melão	1 978	1 978	30,00	31,30	0,31	5 500	0	1	9 300	3 800
Azeitona	70 233	379 444	13,00	1,90	0,38	1 900	7 500	10	4 940	2 290
Pêssego/ Nectarina	173	3 795	13,50	9,20	0,60	5 500	16 500	20	8 100	1 775
Batata	0	17 527	33,00	23,40	0,17	4 500	0	1	5 610	1 110
Girassol	1 613	6 362	3,50	1,60	0,52	800	0	1	1 820	1 020
Milho	6 241	72 968	15,00	9,30	0,22	2 150	0	1	3 300	1 150
Tomate industrial	329	13 321	95,00	94,20	0,08	6 500	0	1	7 600	1 100
Trigo	1 139	30 140	4,50	2,70	0,24	800	0	1	1 080	280
Triticale	128	14 941	4,50	1,60	0,24	800	0	1	1 080	280
Citrinos	289	21 481	17,50	19,70	0,40	5 500	16 000	20	7 000	700
Uva vinho	5 607	173 430	9,00	4,90	0,40	2 750	17 000	20	3 600	0
Arroz	0	25 939	4,50	5,10	0,38	2 000	0	1	1 710	-290

Recorrendo às margens calculadas anteriormente e utilizando os valores de rega anual, calculou-se a possibilidade de aumento do valor da água por metro cúbico através da fórmula de cálculo apresentada de seguida como exemplo, sendo os resultados referentes a cada cultura apresentados na Tabela 3. Foi assim percetível que mesmo aumentando o custo da água em 0,50 € por metro cúbico haveria ainda margem de lucro em 12 das 22 culturas analisadas (as que se encontram coloridas a cor verde) e que, aumentando mais 10 cêntimos, deixaria de ser rentável apenas o cultivo de azeitona e pimento, apontando assim as culturas que se poderão adaptar à necessidade da alteração da origem de água.

$$Margem\ de\ lucro\ com\ o\ acréscimo\ de\ 0{,}10\ € = Margem\ de\ lucro\ atual - 0{,}10 \times Rega\ atual\ no\ Alqueva \quad \text{(equação 3)}$$

Tendo em consideração que os dados são referentes ao ano de 2021 e sabendo que a taxa de inflação tem sofrido aumentos devido à situação pandémica e à guerra na Ucrânia, os dados podem não estar atualizados no momento de consulta desta dissertação.

Tabela 3- Cálculo da margem para acréscimo em função das culturas [49]

Culturas	Produtividade (Ton/ha)	Rega (m^3/ha/ano)	Margem Atual Alqueva (€/ha/ano)	Margem Com Acréscimo De:					
				0,10 €/m^3	0,20 €/m^3	0,30 €/m^3	0,40 €/m^3	0,50 €/m^3	0,60 €/m^3
Morango	60	7 000	131 500	130 800	130 100	129 400	128 700	128 000	127 300
Uva mesa	28	5 000	40 075	39 575	39 075	38 575	38 075	37 575	37 075
Maçã	33	5 600	17 460	16 900	16 340	15 780	15 220	14 660	14 100
Pera	25	5 600	12 850	12 290	11 730	11 170	10 610	10 050	9 490
Mirtilo	9	5 000	12 410	11 910	11 410	10 910	10 410	9 910	9 410
Amêndoa	3	5 000	5 600	5 100	4 600	4 100	3 600	3 100	2 600
Cebola	25	6 900	4 500	3 810	3 120	2 430	1 740	1 050	360
Melancia	33	4 500	4 250	3 800	3 350	2 900	2 450	2 000	1 550
Damasco/ Alperce	6	6 100	3 900	3 290	2 680	2 070	1 460	850	240
Melão	30	6 250	3 800	3 175	2 550	1 925	1 300	675	50
Pimento	40	6 500	3 750	3 100	2 450	1 800	1 150	500	-150
Azeitona	13	4 200	2 290	1 870	1 450	1 030	610	190	-230
Pêssego/ Nectarina	14	6 100	1 775	1 165	555	-55	-665	-1275	-1885
Batata	33	4 500	1 110	660	210	-240	-690	-1140	-1590
Girassol	4	3 800	1 020	640	260	-120	-500	-880	-1260
Tomate industrial	95	6 500	1 100	450	-200	-850	-1500	-2150	-2800
Milho	15	7 300	1 150	420	-310	-1040	-1770	-2500	-3230
Citrinos	18	5 000	700	200	-300	-800	-1300	-1800	-2300
Trigo	5	2 900	280	-10	-300	-590	-880	-1170	-1460
Triticale	5	2 900	280	-10	-300	-590	-880	-1170	-1460
Uva vinho	9	2 000	0	-200	-400	-600	-800	-1000	-1200
Arroz	5	9 500	-290	-1 240	-2190	-3140	-4090	-5040	-5990

2.4 Legislação e licenciamento

2.4.1 Legislação

Relativamente à legislação que rege o setor da água, têm surgido várias alterações no sentido de otimizar a sua gestão e torná-la mais sustentável. Ao longo deste capítulo será referida legislação avulsa relevante para o âmbito deste trabalho, sendo também analisada de forma mais profunda a legislação vigente dedicada a métodos que permitem a poupança de água, nomeadamente reutilização de águas residuais.

2.4.1.1 Produção e utilização

2.4.1.1.1 Comunitário

- Regulamento (EU) 2020/741, de 25 de maio de 2020- Relativo aos requisitos mínimos para a reutilização da água.

2.4.1.1.2 Nacional

- Decreto-Lei n.º 77/2021, de 27 de agosto- Altera o quadro aplicável às zonas sensíveis relativas ao tratamento de águas residuais urbanas;
- Portaria nº. 266/2019, de 26 de agosto- Aprova a informação e a sinalética a utilizar pelos produtores e utilizadores de água para reutilização (ApR);
- Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto- Estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como a sua utilização;
- Decreto-Lei n.º 93/2008, de 4 de junho- Segunda alteração ao Decreto-Lei nº. 226-A/2007, de 31 de maio, que estabelece o regime da utilização dos recursos hídricos;
- Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de setembro- Estabelece perímetros de proteção para captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público.

2.4.1.1.3 Municipal

- Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de agosto- Estabelece que o serviço de saneamento de águas residuais urbanas pode incluir a valorização de subprodutos resultantes das atividades de tratamento de águas residuais urbanas, nomeadamente através da disponibilização de águas residuais tratadas aptas a

novas utilizações. Do mesmo modo, em sistemas multimunicipais define-se, através do Decreto-Lei n.º 16/2021, que a atividade de produção de água para reutilização integra o serviço público de saneamento de águas residuais urbanas atribuído às entidades gestoras dos sistemas multimunicipais.

2.4.1.2 Gestão

2.4.1.2.1 Comunitário

- Comunicação 2022/C298/01, de agosto de 2022- Orientações para apoiar a aplicação do Regulamento (UE) 2020/741 relativo aos requisitos mínimos para a reutilização da água;
- Diretiva 2000/60/CE, de 23 de outubro de 2000- Estabelece um quadro de ação no domínio da política da água.

2.4.1.2.2 Nacional

- Decreto-Lei n.º 16/2021, de 24 de fevereiro- Altera o Decreto-Lei n.º 92/2013, de 11 de julho, relativo ao regime de exploração e gestão dos sistemas multimunicipais de águas e resíduos;
- Resolução da Assembleia da República n.º 113/2012, de 10 de agosto- Promove a acessibilidade, a sustentabilidade e qualidade dos serviços de abastecimento de água e saneamento;
- Decreto-Lei n.º 130/2012, de 22 de junho- Procede à segunda alteração à Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro, que aprova a Lei da Água traspondo a Diretiva n.º 2000/60/CE do Parlamento Europeu do Conselho, de 23 de outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas;
- Portaria n.º 97/2011, de 9 de março- Procede à alteração dos vértices e coordenadas de alguns pólos de captação de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público, constantes de perímetros de proteção anteriormente aprovados;
- Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro- Aprova a Lei da Água, traspondo para ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho,

de 23 de outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. A Leia da Água, Diretiva-Quadro da Água, designação comum, é o principal instrumento da Política da União Europeia relativa à água, estabelecendo um quadro de ação para a proteção das águas superficiais, águas subterrâneas, águas de transição (na proximidade da foz dos rios) e águas costeiras;

- Lei n.º 54/2005, de 15 de novembro- Estabelece a titularidade dos recursos hídricos. A sua última redação é dada pela Lei n.º 31/2016 de 26 de agosto;
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 72/2004, de 16 de junho- Aprova as linhas gerais do modelo de reestruturação do setor das águas em Portugal e fixa as várias etapas da sua implementação;
- Decreto n.º 5-787- IIII, de 10-05-1919- Lei das Águas água, água doce, água salgada, utilização da água, domínio público hídrico, alvarás, coimas e multas, contraordenações, fiscalizações. Qualidade da água, Direito do Ambiente, Direito Civil, Direito Contraordenacional.

2.4.1.3 Qualidade

2.4.1.3.1 Comunitário

- Decisão de Execução (EU) 2022/1307, de 22 de julho de 2022- Estabelece uma lista de vigilância das substâncias a monitorizar a nível da União no domínio da política da água nos termos da Diretiva 2008/105/CE do Parlamento Europeu e do Conselho;
- Diretiva 2006/118/CE, de 12 de dezembro de 2006- Relativa à proteção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração;
- Resolução 92/C59/02, de 25 de fevereiro de 1992- Relativa à futura política comunitária em matéria de águas subterrâneas.

2.4.1.3.2 Nacional

- Resolução da Assembleia da República n.º 234/2017, de 18 de outubro- que recomenda ao Governo a promoção da divulgação dos dados referentes à qualidade da água junto dos consumidores de uma forma simples e eficaz;

- Decreto-Lei n.º 34/2016, de 28 de junho- Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de outubro, que estabelece o regime de proteção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração, traspondo a Diretiva 2014/80/EU da Comissão, de 20 de junho de 2014, que altera o anexo II da Diretiva 2006/118/CE do Parlamento e do Conselho, relativa à proteção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração;
- Decreto-Lei n.º 218/2015, de 7 de outubro- Procede à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 103/2010, de 24 de setembro, que estabelece as normas de qualidade ambiental no domínio da política da água traspondo a Diretiva n.º 2013/39/EU do Parlamento Europeu do Conselho, de 12 de agosto de 2013, no que respeita às substâncias prioritárias no domínio da política da água;
- Decreto-Lei n.º 133/2015, de 13 de julho- Procede à sétima alteração ao Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho que traspôs a Diretiva n.º 91/271/CEE do Conselho, de 21 de maio, relativamente ao tratamento de águas residuais urbanas;
- Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto- Estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Revoga o Decreto-Lei nº 74/90, de 7 de março;
- Declaração de Retificação n.º 22-C/98, de 30 de novembro- Retificando o Decreto-Lei n.º 236/98, do Ministério do Ambiente, que estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seu principais usos, publicado no Diário da República, 1ª série, n.º 176, de 1 de agosto de 1998;
- Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho- Traspõe para o direito interno a Diretiva n.º 91/271/CEE do Conselho, de 21 de maio de 1991, relativamente ao tratamento de águas residuais urbanas.

2.4.1.4 Abastecimento

2.4.1.4.1 Nacional

- Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto- Aprova o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de águas residuais.

2.4.1.5 Monitorização

2.4.1.5.1 Comunitário

- Diretiva 2009/90/CE, de 31 de julho de 2009- Estabelece, nos termos da Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, especificações técnicas para a análise e monitorização químicas do estado da água.

2.4.1.5.2 Nacional

- Decreto-Lei n.º 42/2016, de 1 de agosto- Altera as normas respeitantes à monitorização dos elementos de qualidade das águas superficiais, das águas subterrâneas e das zonas protegidas relativos ao estado ecológico, procedendo à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de março, traspondo a Diretiva 2014/101/EU da Comissão, de 30 de outubro de 2014, que altera a Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu do Conselho, de 23 de outubro de 2000;
- Portaria n.º 1115/2009, de 29 de setembro- Aprova o Regulamento de Avaliação e Monitorização do Estado Quantitativo das Massas de Água Subterrâneas.

2.4.1.6 Gestão económica

2.4.1.6.1 Nacional

- Decreto-Lei n.º 147/2017, de 5 de dezembro- Estabelece o regime da tarifa social relativa à prestação dos serviços de águas. Com a última redação dada pela Lei n.º 75-B/2020, de 31 de dezembro;
- Decreto-Lei n.º 97/2008, de 11 de junho- Estabelece o regime económico e financeiro dos recursos hídricos.

Tem sido feito um importante caminho no que diz respeito à atualização da legislação em conformidade com a mudança de paradigma associada ao setor da água.

Conforme descrito anteriormente, a reutilização da água tem vindo a aumentar em todo o mundo surgindo, consequentemente, a necessidade de estabelecer normas, regras e metodologias que permitam avaliar o risco inerente a esta prática de modo a garantir a saúde e segurança de todos os utilizadores deste recurso e do ambiente.

Várias instituições têm vindo a desenvolver estratégias de forma a promover a reutilização de água residual em segurança, das quais se destaca a Organização Mundial de Saúde (OMS) que tem desenvolvido normas para a proteção da saúde pública, nomeadamente quando se pretende a utilização desta água para usos públicos. Destaca-se também a Organização Internacional de Normalização (ISO) que tem vindo a desenvolver normas que visam a utilização das águas residuais tratadas para rega, usos urbanos, usos industriais e a avaliação do risco para a saúde e para o ambiente.

Na sequência da Estratégia Comum para a implementação da Diretiva Quadro da Água, foi adotado um guia para a promoção da reutilização de água para irrigação em contexto agrícola recorrendo à reutilização de águas residuais de origem urbana abrangidas pela Diretiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de maio de 1991, transposta para o direito nacional pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho.

Surgiu, posteriormente, o artigo 57.º do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio, que na sua redação atual determina que as águas residuais tratadas devem ser reutilizadas, sempre que possível, nomeadamente para a irrigação de jardins, espaços públicos e campos de golfe, integrando a orientação prevista na Diretiva 91/271/CEE.

A diretiva estabelece ainda que as vias de eliminação das águas residuais urbanas devem minimizar os efeitos nocivos para o ambiente estando sujeitas a regulamentação ou a autorizações prévias específicas.

Os tratamentos realizados nas ETAR conferem ao efluente uma elevada qualidade sendo desejável a adaptação da utilização desta água para usos compatíveis reduzindo assim a pressão de consumo nos sistemas públicos de abastecimento de água. É assim estabelecido que as águas residuais devem ser reutilizadas apostando numa estratégia de reutilização, o que implica a definição do seu enquadramento regulatório.

Surge então o Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto que promove uma nova abordagem à reutilização da água residual em Portugal estabelecendo o regime jurídico de

produção de água para reutilização (ApR), desde a sua produção até à utilização, promovendo a sua correta utilização e abrindo portas para um enorme potencial de poupança de água potável. Este Decreto estabelece que a reutilização de água deve ser utilizada segundo uma abordagem "*fit-for-purpose*" (adequar ao fim a que se destina), pretende ainda minimizar os riscos de modo a garantir a reutilização da água em segurança para a saúde pública e para o ambiente, e definir o regime de licenciamento associado.

São ainda estabelecidos mecanismos que promovem a transparência e o acesso à informação tendo como objetivo promover a confiança dos utilizadores e do público em geral na utilização desta fonte de água.

Este Decreto-Lei apresenta considerações bastante relevantes e organiza-se da seguinte forma:

- Capítulo I- Disposições gerais tais como o objeto, âmbito, definições relevantes e entidade competente;
- Capítulo II- Licenciamento referente à avaliação de risco, apresenta também várias especificações relativas às licenças e vicissitudes das mesmas;
- Capítulo III- Requisitos e condições aplicáveis à produção e utilização de ApR que permitem garantir a qualidade da água através da definição, por exemplo, de normas de qualidade, verificação da conformidade, amostragem e métodos analíticos e monitorização da produção e utilização de ApR;
- Capítulo IV- Fiscalização e regime contraordenacional referindo-se à inspeção e fiscalização, contraordenações, instrução e decisão dos processos de contraordenação, sansões acessórios e apreensão cautelar e indicadores de qualidade do serviço;
- Capítulo V- Disposições finais e transitórias nas quais se inclui informação ao público, indicações referentes às Regiões Autónomas e alterações que foram feitas ao Decreto-Lei anterior, o Decreto-Lei n.º 75/2015 de 11 de maio.

Os anexos deste decreto são referentes aos vários artigos e conferem informações detalhadas bastante úteis para a produção e utilização da água residual tais como as normas de qualidade a aplicar em função dos diferentes usos (rega, usos urbanos ou usos industriais), a periodicidade de amostragem, os parâmetros a monitorizar nas ApR em função do tipo de usos, os elementos que devem constar nas licenças, entre outros.

Ainda relativamente à qualidade da água, esta é a legislação vigente que se aplica ao tema no momento, no entanto encontra-se em estudo uma proposta de reforma da Diretiva Europeia adotada em 1991 que regula a qualidade do efluente proveniente das ETAR e descarregado em meio hídrico. No rascunho de proposta de alteração tornado público há cerca de quatro meses propõem-se diversas medidas, nomeadamente o controlo de contaminantes como fármacos e outros componentes e a adoção de valores mais exigente e avaliações mais frequentes dos parâmetros já avaliados de modo a garantir uma melhor qualidade da água devolvida ao ecossistema tendo em conta os danos que os mesmos têm causado. Tendo em consideração que esta é uma diretiva destinada à descarga em meio hídrico e que esta proposta resultará numa melhoria significativa do efluente, prevê-se que possam surgir também alterações aos parâmetros para ApR dentro de alguns anos. [50]

2.4.2 Licenciamento

A produção e utilização de águas para reutilização (ApR) estão sujeitas à obtenção prévia de licença estando os seus termos descritos no Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto.

A licença aplicada à produção destina-se a uso próprio e para cedência a terceiros e deve conter as condições relativas ao fornecimento, requisitos técnicos e programas de monitorização. Os mesmos requisitos são aplicados às licenças de utilização.

A produção e utilização de ApR estão sujeitas a uma avaliação do risco minuciosa considerando, inclusivamente, vários perigos, formas e probabilidade de exposição aos mesmos sendo disponibilizado, pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), um documento guia para o apoio à avaliação do risco.

Os pedidos de licença são submetidos na plataforma – SILiAmb – Sistema Integrado de Licenciamento, sendo posteriormente avaliados pela Agência Portuguesa do Ambiente. Esta entidade solicita um parecer ao delegado de saúde regional ou à direção regional de agricultura territorialmente competente.

A entidade requerente da licença tem ainda a obrigação da prestação de uma caução de modo a garantir o pagamento de indemnizações por eventuais danos causados por erros ou omissões de processo ou ainda incumprimentos das disposições legais. O valor da caução é calculado tendo como referências o volume de ApR produzido ou utilizado e os fatores de risco associados.

As licenças de produção de ApR são atribuídas por um prazo máximo de dez anos, podendo variar consoante fatores como resultado da sua avaliação de risco. O prazo de licença de utilização de ApR não pode ser superior ao da licença de produção de ApR a que se associa. Estas são as disposições legais apresentadas no Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto, no entanto, no âmbito do Plano de Recuperação e Resiliência, o Programa do XXIII Governo Constitucional elegeu como prioridade a simplificação da atividade administrativa através da eliminação de licenças, autorizações e atos administrativos desnecessários, estando em fase de aprovação um Diploma que promove a simplificação de licenças e procedimentos para empresas da área ambiental. Conforme percetível pelo documento que esteve disponível para consulta pública, pretende-se eliminar custos associados a exigências administrativas que não apresentem uma efetiva mais-valia ambiental, barreiras desnecessárias ao licenciamento de atividades económicas e diminuir o tempo associado a alguns procedimentos administrativos.

Assim, espera-se evitar que a competitividade do país seja prejudicada facilitando os processos e melhorando a eficácia dos mesmos, devendo sempre ser garantido que a eliminação de determinados processos não prejudicará o cumprimento de regras de proteção de saúde pública e ambiente. [51-52]

Tendo terminado recentemente a fase de consulta pública, esperam-se ainda conclusões sabendo que o processo de licenciamento poderá sofrer alterações que promovam a sua simplificação e celeridade.

2.5 Planos e Estratégias

O acesso à água e a promoção da sustentabilidade deste recurso de modo a satisfazer as exigências humanas e garantir o normal funcionamento do ecossistema são desafios enormes no contexto mundial para um futuro a curto, médio e longo prazos. Conforme é percetível através da análise dos exemplos anteriormente apresentados referentes a vários pontos do globo, será essencial criar medidas que podem passar pela limitação de utilização dos recursos hídricos, pela adoção de ferramentas tecnológicas e, certamente, pelo desenvolvimento de planos e estratégias que promovam uma gestão eficiente da água.

Deste modo, é importante considerar os diversos esforços a nível internacional, nacional e até local no sentido de estabelecer metas e estratégias para que vários problemas, nomeadamente os que estão associados à gestão da água, sejam mitigados.

2.5.1 Internacionais

2.5.1.1 Convenção de Cooperação para a Proteção e o Aproveitamento Sustentável das Águas das Bacias Hidrográficas Luso-Espanholas

Esta convenção, também conhecida como Convenção de Albufeira, foi criada em 1998 e, posteriormente completada com o Protocolo de Revisão do Regime de Caudais, em 2008. Devido às suas características geográficas, Portugal e Espanha partilham uma parte significativa dos recursos hídricos tornando a sua gestão um assunto de enorme relevância. Esta convenção que integra as disposições da Diretiva Quadro da Água da União Europeia, pretende criar um quadro de cooperação e coordenação para a proteção das massas de água, dos ecossistemas aquáticos e terrestres e para a utilização sustentável dos recursos hídricos que se aplique a ambos os países.

Os acordos bilaterais e convenções contribuíram, ao longo da história, para o desenvolvimento e bem-estar das populações que beneficiam dos recursos hídricos partilhados, sendo estes as bacias hidrográficas dos rios Minho, Lima, Douro, Tejo e Guadiana.

Antes da Convenção de Albufeira outras convenções tinham sido assinadas, nomeadamente nos anos 60 do século passado, e pretendiam harmonizar o

aproveitamento dos recursos hídricos atribuindo a cada país 50 % do seu potencial. No entanto, quando surgiram as primeiras conversações para que esta convenção fosse criada, o objetivo era já contemplar as exigências que resultariam da Diretiva Quadro da Água (DQA) e aspetos relevantes como a qualidade das águas e a possibilidade de períodos de seca.

Neste contexto, a Bacia Hidrográfica é analisada como um todo, abrangendo as águas superficiais e subterrâneas e os ecossistemas que se relacionam com o meio hídrico. [53]

Surgem agora algumas questões em relação a esta Convenção partilhada entre os dois países da Península Ibérica. Atualmente, a pluviosidade em Espanha apresenta níveis mais reduzidos do que na altura em que os acordos de caudais foram estabelecidos, em 2008. Em 2022, um ano de seca para a Península Ibérica, Espanha garantiu o lançamento de cerca de 99 % do caudal previsto nas bacias dos rios Minho e Lima. No entanto, os caudais previstos para os rios Tejo e Douro não foram respeitados, tendo sido lançados apenas 86 % e 91 %, respetivamente, da quantidade esperada.

Deste modo, é pretendida, por parte do país vizinho, uma renegociação destes valores. Em declarações recentes, de janeiro de 2023, o Ministério do Ambiente mostrou-se disponível papara trabalhar numa melhoria deste acordo, mas não numa renegociação visto que seria prejudicial para Portugal. [54]

2.5.2 Nacionais

2.5.2.1 Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas 2020 (prorrogado até 2025)

Esta estratégia pretende estabelecer objetivos e modelos de implementação de soluções para a adaptação dos diferentes setores aos efeitos das alterações climáticas.

A Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAC) pretende servir como um instrumento de apoio à administração central, regional e local, de modo a apoiar os decisores políticos a encontrar e implementar soluções de aplicação com base em conhecimento técnico-científico.

De entre os setores sobre os quais a ENAAC se debruça, destaca-se, neste âmbito, a gestão dos recursos hídricos. [55]

2.5.2.2 Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas (P-3AC)

Este programa surge na sequência da estratégia anterior, pretendendo cumprir o seu segundo objetivo, a implementação de medidas de adaptação através das estratégias de operacionalização dos objetivos propostos.

O P-3AC elege 8 linhas de ação, priorizando as diversas medidas de adaptação que pretendem abranger objetivos como a prevenção de incêndios rurais e de ondas de calor. Neste âmbito, destacam-se medidas relacionadas com o assunto desta dissertação sendo elas enumeradas de seguida:

- Uso eficiente da água (na agricultura, em usos urbanos e industriais);
- Proteção contra inundações (áreas de infiltração, recuperação de perfis naturais, proteção e drenagem urbana sustentável).

Este programa apresenta duas abordagens à operacionalização das medidas, sendo elas ações de adaptação a curto e médio prazo. [56]

2.5.2.3 Roteiro Nacional para a Adaptação (RNA 2100)

Este roteiro pretende definir orientações para adaptações às alterações climáticas tendo sido o trabalho iniciado em 2020 com previsão de conclusão em 2023. Pretende-se assim avaliar a vulnerabilidade nacional às alterações climáticas, bem como estimar os custos associados às adaptações necessárias subjacentes aos impactes previstos para o ano de 2100.

A elaboração deste roteiro é da responsabilidade da Agência Portuguesa do Ambiente e conta com a integração de especialistas de várias áreas com o intuito de tornar este documento abrangente. Estão assim envolvidas entidades como a Direção Geral do Território, o Instituto Português do Mar e da Atmosfera e o Banco de Portugal. [55]

2.5.2.4 Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2020 e Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais e Pluviais 2030

O Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2020 (PENSAAR 2020) surgiu como uma forma de definir uma nova estratégia para o setor de

abastecimento de água e saneamento de águas residuais, tendo como lema "Uma estratégia ao serviço da população: serviços de qualidade a um preço sustentável" remetendo para uma estratégia focada na gestão eficiente dos recursos que procura dar resposta aos desafios impostos pelas circunstâncias atuais. [57]

Este plano esteve em vigor entre os anos de 2011 e 2020 e foi formada uma comissão responsável pela avaliação anual deste plano, o Grupo de Apoio à Gestão do PENSAAR 2020. Segundo este grupo e numa perspetiva de avaliação final, foi possível alcançar as seguintes conclusões:

- A tendência dos indicadores de desempenho foi, de um modo geral, positiva, denotando alguma irregularidade no indicador relativo à qualidade do serviço de saneamento em alta;
- Algumas metas fixadas para o período de atuação deste plano não foram atingidas, sendo exemplos a quantidade das perdas reais de água em alta, o controlo de descargas de emergência e a ocorrência de inundações. Justifica-se algumas destas falhas com a incapacidade de investimento por parte de algumas Entidades Gestoras;
- No ano de 2020 verificou-se uma descontinuidade no percurso de melhoria de alguns indicadores conduzindo, nomeadamente, a falhas no abastecimento, problemas nas condutas e incorreto encaminhamento de águas residuais. Pensa-se que estes resultados tenham surgido como consequência da pandemia de Covid-19 que interferiu na gestão das equipas de colaboradores. [58]

Para a década seguinte surgiu um novo plano que sofreu uma alteração ao seu nome, sendo agora incluídas também as águas pluviais. O Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais e Pluviais 2030 (PENSAARP 2030), vigente entre os anos de 2021 e 2030, tem como objetivo assegurar a sustentabilidade do setor a longo prazo servindo como um instrumento norteador das políticas relacionadas com o ciclo urbano da água e a sua articulação com as restantes políticas setoriais relevantes, nomeadamente dando respostas aos desafios resultantes das alterações climáticas.

Seguindo a mesma estratégia, foi também criado um grupo de trabalho para este plano, o GT PENSAARP 2030, que tem como missão elaborar um projeto de plano estratégico para o abastecimento de água e saneamento de águas residuais e pluviais para o período em que o mesmo estará vigente. Competem ainda a este grupo outras tarefas como a definição e

especificação de ações a executar e a definição das necessidades de investimento a realizar de modo a alcançar os objetivos e metas estabelecidos. [59]

No documento referente ao PENSAARP 2030, disponível para consulta pública, encontram-se pensadas medidas no sentido de melhorar a eficácia, eficiência e sustentabilidade dos serviços e ainda de aumentar a valorização económica, ambiental, territorial, e societal dos mesmos. Para isso estão planeadas várias medidas, sendo que do seu amplo conjunto de 70 propostas serão seguidamente destacadas apenas algumas pela sua relação com o tema desta dissertação: construção de infraestruturas de abastecimento de água e águas residuais, construção e renaturalização de infraestruturas de águas pluviais, melhoria operacional, modernização e automação dos serviços, melhoria das águas residuais e pluviais rejeitadas, redução de perdas de água nos sistemas de abastecimento, redução de afluências indevidas nos sistemas de águas residuais, melhoria da eficiência hídrica das instalações domésticas, não domésticas e de outros usos urbanos, utilização de origens alternativas de água e promoção gradual da circularidade dos produtos. [60]

2.5.2.5 Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA)

O Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água é um instrumento que tem como principal objetivo a promoção do uso eficiente da água, especialmente em meio urbano, agrícola e industrial, de modo a contribuir para a minimização dos riscos de escassez hídrica. Pretende-se assim uma redução dos volumes de cargas poluentes rejeitadas para o meio hídrico e a redução dos consumos energéticos associados ao uso da água.

Este é um documento no qual são sugeridas 72 medidas para os setores urbano (reduzindo as suas perdas e indicando, inclusivamente, que a poupança de água nos banhos e na limpeza de sanitas representam as medidas de poupança mais eficazes do ponto de vista económico), agrícola (promovendo a redução de perdas de água nos sistemas de regadio) e industrial (de modo a reduzir ao impactes associados às descargas de águas residuais industriais); Incentivos por parte da União Europeia para a Construção Sustentável e Certificação da Sustentabilidade em Edifícios que era tipicamente avaliada por sistemas de certificação como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) e que, progressivamente, em Portugal, têm adotado o sistema LIDERA que tem como relevante a

questão ambiental; Incentivos fiscais que são bastante importantes para a generalização da construção sustentável sendo exemplos o Código do Imposto Municipal sobre Imóveis (IMI) que estabelece incentivos para edifícios que aproveitem águas pluviais e/ou façam reutilização de águas residuais e a redução de 50 % sobre o IMI pela Câmara Municipal de Lisboa para os prédio com certificação LIDERA. [61] [20]

2.5.3 Municipais

2.5.3.1 Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas - Porto

Conforme descrito no capítulo referente ao Estado de Arte, a Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas surgiu na sequência das previsões adversas para o concelho do Porto resultantes das alterações climáticas. Foram assim pensadas e implementadas adaptações que permitem reduzir o impacte das alterações climáticas, mitigar comportamentos prejudiciais como a emissão de gases com efeito de estufa e tomar partido das oportunidades disponíveis.

Entre os vários objetivos estabelecidos nesta estratégia, destacam-se a capacitação dos vários intervenientes de modo a torná-los agentes de mudança, a redução da vulnerabilidade do município aos efeitos das alterações climáticas e, consequente, a minimização dos riscos que os eventos climáticos extremos acarretam.

No ano de execução desta estratégia previa-se que os principais impactes climáticos observados estivessem associados a eventos climáticos como ondulação forte, precipitação excessiva que conduzisse a cheias e/ou inundações, desabamentos de terras, ondas de calor e tempestades. [62]

Desde 2016 têm-se verificado este tipo incidentes, conforme demonstra a Figura 19 que apresenta manchetes de notícias que comprovam a ocorrência de 3 dos acontecimentos previstos num período de apenas 16 dias, durante o mês de janeiro de 2023. Isto demonstra que, conforme previsto, estes acontecimentos têm tido lugar e que a gestão do município deve passar pelo trabalho de preparação para estes eventos, à semelhança do que tem sido feito.



Porto

Trânsito cortado na Avenida Gustavo Eiffel após derrocada que atingiu hotel

Adriana Castro
03 Janeiro 2023 às 11:44

QUINTA-FEIRA
19 de JANEIRO de 2023

Porto, Braga e Viana voltam a estar sob aviso laranja já na segunda-feira

O IPMA elevou de amarelo para laranja o aviso em sete distritos de Portugal continental na segunda-feira devido à previsão de agitação marítima e colocou Braga e Viana do Castelo sob aviso amarelo já na noite de domingo.

MAU TEMPO

Inundações na baixa do Porto. Chuva forte deverá regressar esta madrugada

Estação de São Bento já reabriu e a circulação de uma das faixas da Rua Mouzinho da Silveira deve ser reposta às primeiras horas de domingo.

Carolina Amado e Teresa Miranda (fotografia)
7 de Janeiro de 2023, 13:46 (actualizado a 7 de Janeiro de 2023, 20:49)

Figura 19- Notícias que demonstram os acontecimentos extremos ocorridos no Porto durante o mês de janeiro de 2023. [63-65]

Desta estratégia resultaram propostas como a manutenção do plano de redução de água não faturada, o aumento da área de superfície permeável do território municipal e o desenvolvimento de um plano para aproveitamento de águas pluviais e reutilização de águas residuais tratadas para usos como rega e limpeza de jardins. Volvidos mais de 6 anos, e analisando exclusivamente estes 3 exemplos, conclui-se que este trabalho tem sido feito uma vez que a quantidade de água não faturada tem reduzido (conforme será descrito no capítulo referente à empresa Águas e Energia do Porto, E.M.), têm sido criados mais espaços verdes na cidade, como é o caso do recém inaugurado Parque da Asprela, e tem-se trabalhado no desenvolvido de projetos de reutilização de águas residuais tratadas sendo, inclusivamente, este o âmbito desta dissertação. [62]

2.5.3.2 Pacto do Porto para o Clima

O Pacto do Porto para o Clima surgiu em janeiro de 2022 com o objetivo de atingir a neutralidade carbónica no concelho em 2030, assim como contribuir para a sua resiliência em relação às alterações climáticas, torná-la mais competitiva e participativa, envolvendo os munícipes e *stakeholders*.

O setor da água enquadra-se também nesta necessidade de sustentabilidade dado o elevado consumo energético associado ao tratamento, adução e distribuição de água.

Neste sentido, podem ser tomadas medidas que promovam a poupança de energia, como por exemplo adaptar os tratamentos aos usos posteriores da água poupando recursos, planear a adução e distribuição de modo que, parte destas, possa ser realizada através da força gravítica e recorrer a energias renováveis para fazer face às necessidades do setor.

Este Pacto envolve vários os projetos, contribuindo não só para os objetivos específicos e dependentes das entidades que os gerem, como também dá um papel ativo aos habitantes, empresas, organizações sem fins lucrativos e outros atores de diferentes quadrantes tais como educação, desporto, ciência, saúde, etc., transmitindo assim uma visão unitária no sentido do trabalho conjunto para o alcance de um concelho mais próximo da neutralidade carbónica. Através de incentivos e parcerias têm sido implementadas propostas que conduzem a uma maior sustentabilidade.

O município tem feito uma enorme aposta em vários setores com ações concretas, nomeadamente, a eletrificação de veículos da frota municipal, o alargamento da rede de transportes públicos e a gratuitidade da mesma para crianças e jovens até aos 18 anos, o aumento da recolha de resíduos orgânicos, a melhoria da eficiência energética de edifícios municipais, o aumento das áreas verdes e a melhoria da rede de água reduzindo para 14 % as suas perdas. [66] Durante a apresentação pública deste Pacto, o Presidente da Câmara Municipal do Porto assegurou ainda que, atualmente, o município e as suas empresas recorrem apenas a fontes de energia renováveis para o exercício das suas funções. [67]

É assim expectável que o município continue o trabalho no sentido do alcance da sustentabilidade, nomeadamente, no que concerne à gestão dos recursos hídricos promovendo, inclusivamente, a poupança de água potável.

2.5.3.3 *Roadmap* para a cidade do Porto circular em 2030

Este documento espelha as linhas de ação prioritárias da Câmara Municipal do Porto no sentido de aumentar a recirculação de produtos, componentes e materiais na cidade. Este roteiro divide-se em 4 eixos, sendo estes os seguintes:

Eixo 1- Promover a produção e o consumo sustentáveis;

Eixo 2- Assegurar a disponibilidade de recursos naturais e o equilíbrio ambiental:

Eixo 3- Criar e manter infraestruturas partilhadas que aproximem os utilizadores, reabilitar o edificado e criar diretrizes de circularidade para novas obras;

Eixo 4- Empreender soluções inovadoras para transformar os resíduos em recursos.

No âmbito do segundo eixo enquadra-se a questão da reutilização das águas residuais tratadas, nomeadamente através de objetivos que passam pela utilização de tecnologias de ponta para o tratamento de águas residuais no sentido de reduzir os consumos de água potável, a promoção de uma gestão integrada do ciclo urbano da água e a criação de incentivos às empresas para que implementem processos de circularidade de água e nutrientes (presentes nas águas residuais). [68]

2.6 Avaliação da qualidade da água para reutilização

O efluente resultante do tratamento em ETAR apresenta uma elevada qualidade, sendo este outro fator que motiva a reutilização das águas residuais tratadas visto que apenas com pequenos ajustes é possível alcançar uma água de qualidade bastante favorável.

Quando se considera a reutilização das águas residuais é necessário ter em conta a possibilidade de exposição humana à mesma. Isto pode acontecer em parques públicos regados e em ruas que são lavadas com este recurso, por exemplo. Por este motivo, são impostas maiores exigências no que concerne à qualidade da água de forma a garantir a segurança de todos os que a ela são expostos. [16]

Neste sentido, a legislação vigente que se debruça sobre esta temática, o Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto, divide as classes de qualidade e respetivos valores-limite para cada tipo de uso, sendo a classe que apresenta menos qualidade a E e com mais qualidade a A. [48]

Neste documento é feita uma abordagem bastante específica à rega uma vez que é um dos principais usos urbanos com potencial de substituição da água potável por água residual tratada. Os tipos de rega são distribuídos em função da classe em que se enquadram sendo que, por exemplo, a rega sem restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas) nas quais se incluem culturas que podem ser consumidas em cru e estão em contacto direto com a água e jardins privados ou públicos sem restrição de acesso se enquadra na classe máxima (A), e a rega com maiores restrições de acesso sendo apenas passível a sua utilização para a produção de sementes e irrigação de áreas de uso naturalmente restrito como sebes e zonas de socalcos enquadrada na classe E. É indicado que para todos os usos de rega é necessário um nível mais avançado de tratamento do que o secundário sendo que para os

restantes usos urbanos, como lavagem de ruas, água de combate a incêndios e autoclismos, é necessário o mesmo nível (superior a secundário).

Nas TabelasTabela 4Tabela 5 são indicados os parâmetros que devem ser avaliados de forma a respeitar as normas de qualidade em função da classe para rega e usos urbanos, respetivamente.

Tabela 4- Normas de qualidade da água reutilizada para rega [48]

Classe de qualidade	CBO_5 (mg/L O_2)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	E. coli (ufc/100 mL)	Ovos de parasitas intestinais (Nº/L)	Azoto amoniacal[1] (mg NH_4^+/L)	Azoto total[1] (mg N/L)	Fósforo total[1] (mg P/L)
A	≤10	≤10	≤5	≤10	-	10	15	5
B	≤25	≤35	-	≤100	-			
C	≤25	≤35	-	≤1000	≤1			
D	≤25	≤35	-	≤10000	≤1			
E	≤40	≤60	-	≤10000	-			

[1] Parâmetro facultativo. Poderá ser aplicável em alguns projetos de rega para minimização dos riscos de formação de biofilme e obstrução dos sistemas de rega.

Tabela 5- Normas de qualidade de água para usos urbanos e usos paisagísticos [48]

Parâmetro	Suporte de ecossistemas	Usos recreativos de enquadramento paisagístico	Lavagem de ruas [5]	Água de combate a incêndios [1]	Águas de arrefecimento	Autoclismos[1]	Lavagem de veículos [4 5]
pH	A determinar em cada caso em função do estado ecológico e respetivos parâmetros de suporte	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,5 - 8,5[2]	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
CBO_5 (mg/L O_2)		≤25	≤25	≤25	≤25	≤25	
Turvação (NTU)		≤5	-	≤5	-	≤5	≤5
Azoto amoniacal ($mgNH_4$/L)		≤5	-	-	≤5 ou ≤1 (na presença de cobre)	≤10	-
P_{total} (mg/L)		≤2[3]	-	-	-	-	-
E. coli (ufc/100 mL)		≤10	-	≤10	≤200	≤10	≤10

[1] As vias de exposição por ingestão (não intencionada) deverão ser consideradas de máxima importância nestes usos, pelo que a qualidade deverá ser similar à da classe A para rega.

[2] Pode ocorrer crescimento microbiano a valores superiores ou inferiores a esta gama de pH.

[3] Quando utilizado em locais sujeitos à ocorrência de eutrofização (ex.: lagos urbanos, fontes).

[4] Em função das especificidades de aplicação das ApR poderão ser controlados alguns metais e compostos iónicos, tais como ferro, manganês, cloretos, sulfatos, alcalinidade e sílica, para minimização de ocorrência de calcificação ou corrosão dos sistemas de armazenagem e distribuição de água.

[5] Em sistemas de lavagem manual a alta pressão, as vias de exposição por ingestão (não intencionada) deverão ser consideradas de máxima importância nestes usos, pelo que a qualidade deverá ser similar à da classe A para rega.

De seguida são apresentados os parâmetros que devem ser monitorizados em função das suas utilizações, sendo assim compreensível, à semelhança do que espelha a Tabela 6, que os usos que promovem uma potencial ingestão ou contacto direto necessitam de um maior cuidado.

Tabela 6- Parâmetros a monitorizar nas ApR em função do tipo de usos [48]

Uso	Parâmetros
Rega- qualquer tipo	CBO_5
	SST
	Turvação
	E. coli
	Azoto amoniacal
	Azoto total
	Fósforo total
Rega de espaços verdes públicos ou de culturas para animal	Ovos de parasitas intestinais
Rega agrícola	SAR, salinidade
Rega agrícola em sistemas descentralizados em simbiose	Monitorização de parâmetros do risco para culturas agrícolas e proteção de recursos hídricos (ex.: nutrientes e/ou pesticidas)
Usos urbanos	pH
	CBO_5
Usos industriais (usos com risco de contacto direto: ingestão acidental, ex.: gotículas e contacto dérmico)	E. coli

Por último, importa ainda ter em conta a periodicidade de monitorização a considerar para cada classe em função dos parâmetros avaliados. Neste sentido, a Tabela 7 apresenta essa informação.

Tabela 7- Parâmetros a analisar e respetiva periodicidade em função da classe de qualidade e usos pretendidos [48]

Classe de qualidade|Uso	Parâmetros	Periodicidade de amostragem
A Rega, usos recreativos, enquadramento paisagístico, incêndios, autoclismos e lavagem de veículos.	CBO_5	Semanal
	SST	Semanal
	Turvação	Em contínuo
	E. Coli	Semanal
B Rega	CBO_5	Em função o volume produzido e utilizado [1]
	SST	Em função o volume produzido e utilizado [1]
	E. Coli	Semanal
C Rega e águas de arrefecimento	CBO_5	Em função o volume produzido e utilizado [1]
	SST	Em função o volume produzido e utilizado [1]
	E. Coli	Quinzenal
	Ovos de parasitas intestinais	Quinzenal [2]
D Rega	CBO_5	Em função o volume produzido e utilizado [1]
	SST	Em função o volume produzido e utilizado [1]
	E. Coli	Quinzenal
	Ovos de parasitas intestinais	Quinzenal [2]
E Rega	CBO_5	Em função o volume produzido e utilizado [1]
	SST	Em função o volume produzido e utilizado [1]
	E. Coli	Quinzenal
Lavagem de ruas	CBO_5	Em função o volume produzido e utilizado [1]

1

a) até 300 m^3/dia: Amostragem trimestral

b) Entre 300 e 1500 m^3/dia: Amostragem mensal, podendo passar a trimestral nos anos seguintes, se se provar que durante o primeiro ano a água cumpre as disposições do presente decreto-lei; se uma das 4 amostras colhidas nos anos subsequentes não cumprir os requisitos, deverão, no ano seguinte, ser colhidas 12 amostras;

c) Entre 1500 e 7500 m^3/dia: Amostragem mensal;

d) Superior a 7500 m^3/dia: Amostragem quinzenal.

2 Após 1 ano de amostragem, a periodicidade de amostragem poderá ser revista em função dos resultados obtidos.

Conforme descrito anteriormente, a qualidade da água para reutilização pode enquadrar-se em 5 classes distintas. Apesar de alguns usos se poderem incluir da classe mais baixa, num contexto urbano, particularmente numa cidade como o Porto, a maioria das utilizações deve ter assegurada a classe de maior qualidade. Assim, de forma a garantir as condições de segurança e a rentabilidade económica, é mais viável nivelar toda a água reutilizada pela qualidade máxima, classe A, facilitando o seu tratamento e distribuição.

Realça-se novamente o facto destes padrões poderem vir a ser expostos a uma maior exigência dada a possível alteração da legislação que regula a qualidade do efluente descartado para o meio hídrico, e, por consequência, a também alteração da legislação que regula a produção e fornecimento de ApR.

2.7 Enquadramento económico

A gestão da água tem um importante enquadramento económico que deve ser considerado.

O valor tarifado varia em todo o território e deve refletir, de uma forma integrada, o desempenho das entidades gestoras incluindo neste ponto a qualidade do serviço prestado, a cobertura dos gastos e a conduta perante o consumidor. É importante considerar que o setor da água exige um investimento elevado e contínuo, pelo que a sua sustentabilidade económica deve ser refletida na estratégia tarifária. Assim, as tarifas devem ser determinadas de forma a gerar rendimentos que cubram os investimentos efetuados e que, frequentemente, estão dependentes de fatores externos às entidades gestoras, tais como a orografia da região, dimensão e densidade da população servida.

Fatores como a situação pandémica vivida e os impactes económicos da guerra da Ucrânia têm-se feito sentir, refletindo-se numa acentuada subida da taxa de inflação.

No relatório realizado pela ERSAR, o Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP) disponível, até ao momento, com valores referentes ao ano de 2020 é possível analisar o efeito do início da pandemia de Covid-19. Neste ano o valor tarifado pelas entidades gestoras aos utilizadores finais foi de 1,4099 €/m^3 para o serviço de abastecimento e de 1,1957 €/m^3 para o serviço de saneamento de águas residuais, representando variações de -1,1 % e 4,7 %, respetivamente, face a valores do ano anterior. [69]

Sabe-se ainda que, relativamente ao ano de 2019, as famílias portuguesas suportavam um encargo mensal médio de 25,07 € para um consumo de 10 m^3 de água. Do total deste valor 44,9 % destina-se a custos associados ao abastecimento de água, 34,6 % ao saneamento de águas residuais e 20,5 % à gestão de resíduos urbanos. [70]

O gráfico apresentado na Figura 20 demonstra as variações referentes ao custo médio nacional associado à prestação dos serviços de abastecimento de água e tratamento de águas residuais, bem como o conjunto destes dois serviços. É assim visível que deste 2016 o valor total médio tarifado por m^3 nunca tinha sido tão elevado. [69]

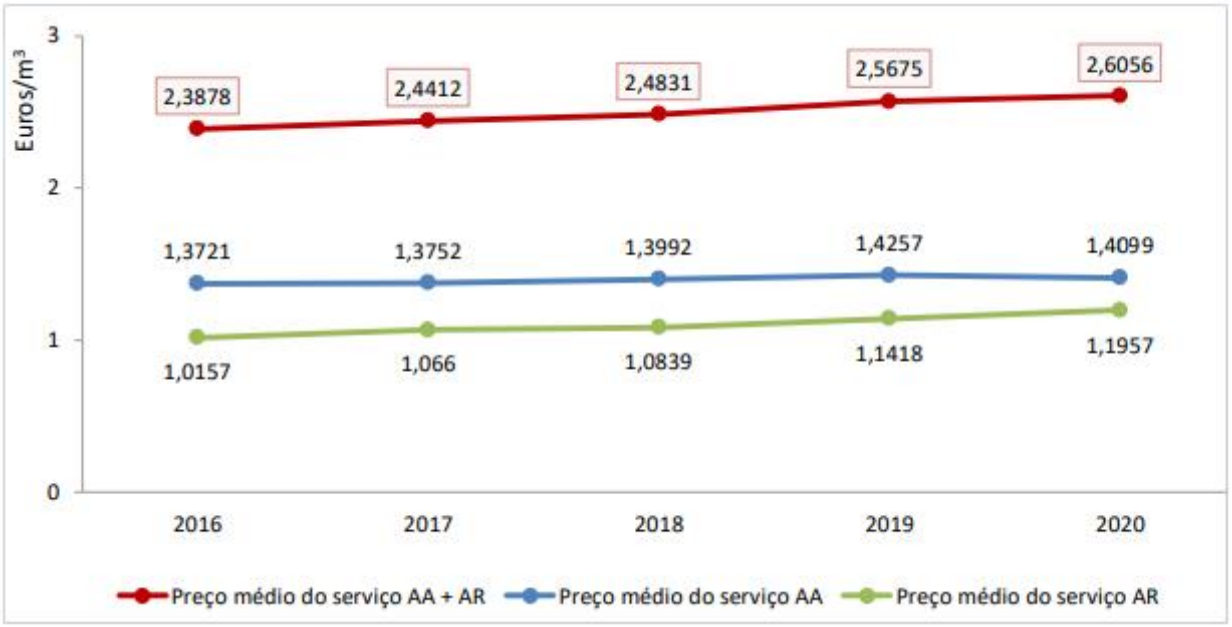


Figura 20- Evolução dos custos médios associados aos serviços prestados aos utilizadores finais entre os anos de 2016 e 2020. [69]

Verifica-se, no entanto, uma grande amplitude entre os preços mínimos e máximos, sendo que, em geral, os valores cobrados pela prestação destes serviços são superiores nas entidades gestoras de natureza empresarial.

No sentido de caminhar para uma gestão mais sustentável das zonas urbanas têm surgido várias visões que se prendem diretamente com a economia e com a integração de soluções para as problemáticas ambientais.

A Economia Circular é um conceito que passa pela ideia de "fechar um ciclo". Este ciclo é referente ao tempo de vida dos produtos e/ou serviços, podendo ser fechado através da reciclagem, reutilização e recuperação, conduzindo a benefícios económicos e ambientais.

Assim, conforme apresentado no capítulo introdutório, a reutilização de águas residuais assenta numa perspetiva de economia circular uma vez que pretende manter elevados o valor económico e utilidade desta água durante um maior período.

Destacam-se ainda outros modelos de gestão que dão enfâse às questões ambientais. Em 2012 surgiu, na Universidade de Oxford, pela economista Kate Raworth, o modelo de Economia *Donut* que pretende combinar os limites do planeta com as bases da sociedade. Esta visão combina os alicerces sociais que devem ser garantidos para os cidadãos com os limites ambientais. Assim, pretende-se criar uma sociedade mais justa e ambientalmente sustentável. A referência "*donut*" funciona como uma metáfora, criando uma imagem da organização desta economia tendo como base visual o conhecido doce. Nesta figuração o

centro representa as 12 dimensões sociais, que vão ao encontro dos objetivos de desenvolvimento sustentável, essenciais para garantir uma boa qualidade de vida. Por outro lado, a camada exterior é alusiva a 9 limites ambientais nos quais se inclui a utilização excessiva de água doce. A Figura 21 ilustra a ideia transmitida por este modelo.



Figura 21- Diagrama representativo da economia Donut. [71]

Este molde tem como objetivo ser uma adaptação à realidade vivida no século XXI procurando assim harmonizar os vários objetivos e desafios atuais, tais como os objetivos de crescimento económico (principalmente após períodos tão desafiantes economicamente), trabalhar para um desenvolvimento sustentável combatendo problemáticas ambientais emergentes e procurar uma sociedade mais justa. Pretende-se assim uma mudança de paradigma retirando o foco do Produto Interno Bruto como forma de avaliação, passando a ter como objetivo o equilíbrio entre a base social e ambiental de uma comunidade. Deste modo, a economia só é considerada próspera quando todas as bases sociais são garantidas e não é ultrapassado nenhum limite ambiental.

Esta visão tem sido adotada por cidades como Amesterdão, Bruxelas e Copenhaga. [71]

3 ÁGUAS E ENERGIA DO PORTO, E.M.

3.1 Município do Porto

A cidade do Porto é a capital da Área Metropolitana do Porto, no Distrito do Porto. Apesar da sua área geográfica de apenas 41,42 Km^2, o Porto é o terceiro município mais densamente povoado do país com cerca de 240 000 habitantes. [72] Divide-se em sete freguesias e uniões de freguesias e é limitado pelos municípios de Matosinhos e Maia a norte, por Gondomar a este, pelo Rio Douro a sul - com várias ligações a Vila Nova de Gaia - e pelo Oceano Atlântico a oeste.

A Figura 22 apresenta um mapa efetuado com recurso ao software QGIS que ilustra a distribuição geográfica do município.



Figura 22- Mapa do município do Porto e cidades envolventes.

A cidade é conhecida pelo seu vinho, pelas pontes, arquitetura e centro histórico que levaram à sua classificação como Património Mundial pela UNESCO. Todas estas características aliadas ao reduzido custo de vida, quando em comparação com outras cidades europeias, conduz a uma elevada procura turística. Por todas estas vantagens e trabalho desenvolvido neste setor o Porto foi distinguido com o prémio de melhor destino de cidade do mundo pela *World Travel Awards* 2022.

Paralelamente, a qualidade da Universidade do Porto que se destaca entre as 200 melhores universidades do Mundo e as 100 melhores do Europa atrai também a vida estudantil na cidade.

Há ainda outras características como a disponibilidade de serviços, a qualidade dos centros hospitalares e a segurança que se tornam chamativas para turistas e potenciais habitantes estrangeiros.

3.2 História da Águas e Energia do Porto, E.M

As mais antigas instalações de água no município de que há registo remontam ao ano de 1392 pelas fontes e chafarizes para uso público, embora sem condições de higiene.

Com o crescimento e consequente concentração da população, os problemas de escassez e insalubridade foram-se agravando, sendo necessário aproveitar o manancial de Paranhos, situado no subsolo do Jardim da Praça 9 de Abril, mais conhecido como Jardim da Arca d' Água.

No reinado de D. Filipe I, iniciou-se o seu encanamento que ficou concluído em 1607, permitindo o transporte da água até diferentes locais na cidade, alimentando várias fontes ao longo do seu percurso.

No ano de 1825, foi aprovado o novo trajeto que devia incorporar um outro aqueduto, já em construção, o de Salgueiros, com origem na atual rua de Antero de Quental. O novo aqueduto, com uma extensão de cerca de 3,5 Km, ficou concluído em 1838 e terminava na Arca de Sá Noronha (atual Praça Gomes Teixeira).

Até ao final da década de 1880 a maioria dos portuenses recorriam a fontes públicas para terem acesso a água e as pessoas que tinham mais posses estabeleciam contratos com os "aguadeiros" que a vendiam. No entanto, era urgente a transformação deste sistema devido à reduzida qualidade da água. [73]

A partir de 1887, após a construção da Central do Sousa, o Túnel-Reservatório de Jovim, os Reservatórios de Santo Isidro, dos Congregados e de S. João da Foz e a conhecida Fonte Monumental (dos Leões) - cuja função era a diminuição da pressão da água na zona baixa da cidade - e assentes mais de 70 km de tubagens, foi possível fornecer água de forma regular.

Os trabalhos de construção e gestão do sistema foram concessionados, por concurso, à "*Compagnie Générale des Eaux pour l'Étranger*", originando a expressão "água da Companhia".

Devido à vulnerabilidade do sistema demonstrada perante as cheias dos Rios Douro e Sousa a Câmara exerceu fortes pressões junto da Companhia, conduzindo assim, no ano de 1927, após quarenta anos de concessão, à criação dos Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento do Porto (SMAS do Porto). Esta mudança teve o intuito de melhorar a qualidade de vida dos munícipes e o ambiente da cidade através de um serviço que garantisse o fornecimento constante de água com qualidade e a drenagem das águas residuais. [73]

Durante as décadas subsequentes foram realizadas diversas obras de enorme relevância, inclusivamente, para o abastecimento feito atualmente na cidade.

A necessidade de elevados investimentos ao nível da captação e tratamento de águas conduziu à constituição da empresa Águas do Douro e Paiva. A partir do início do ano de 1998 esta empresa passou a garantir o abastecimento em alta (responsáveis pela captação da água) à Área Metropolitana do Porto sendo que o então SMAS passou a garantir apenas a distribuição em baixa (venda e distribuição aos clientes) à cidade.

Em relação à drenagem e tratamento de águas residuais, e tendo sido relacionada a falta de tratamento de esgotos às epidemias e pestes que fustigaram a cidade do Porto durante o final do século XIX, em 1897, foi aberto um concurso público para a conceção e construção do sistema de saneamento da cidade do Porto

Para receber os esgotos foram construídos os tanques de Sobreiras, local próximo da foz do Douro, onde eram armazenados durante os períodos de maré enchente, procedendo-se à sua descarga quando a maré começava a baixar, aproveitando esta corrente para encaminhar os dejetos para o oceano.

Em 1907 apesar do grande feito da construção da primeira fase do sistema de saneamento, a falta de ligação dos prédios ao sistema constituía um grande entrave ao sucesso deste projeto. Em 1930, três anos após o resgaste da "Companhia", os SMAS viram-se obrigados a adjudicar obras sanitárias no interior das habitações e a sua ligação à rede de saneamento, substituindo-se aos proprietários.

Ao longo de décadas assistiu-se à extensão dos intercetores e ampliação das redes coletoras, acompanhando a expansão urbanística da cidade, mantendo-se a concentração de todas as águas residuais em Sobreiras.

No ano de 2000 com a inauguração da ETAR do Freixo e em 2003 com a inauguração da ETAR de Sobreiras, a cidade do Porto ficou dotada de infraestruturas modernas e eficientes no tratamento das águas residuais produzidas na cidade, capazes de tratar um efluente correspondente a 370 000 habitantes equivalentes.

No ano de 2006 foi constituída a Águas do Porto, E.M. cujo capital social era detido pela Câmara Municipal do Porto. A empresa foi responsável pela continuidade do trabalho até aí realizado pelo SMAS do Porto. [73]

Em novembro de 2020 a Águas do Porto juntou ao seu objetivo social de gerir integral e sustentavelmente todo o ciclo urbano da água a responsabilidade sobre a gestão de infraestruturas de iluminação da cidade, passando a denominar-se Águas e Energia do Porto E.M. (AEdP). Assim, a empresa é, atualmente, responsável pelas atividades de distribuição de água (sistema em baixa), drenagem e tratamento de águas residuais (sistema em baixa e em alta), drenagem de águas pluviais, gestão das linhas de água (rios e ribeiras urbanas), gestão da frente marítima, gestão da energia e promoção da educação ambiental e da sustentabilidade. [74]

A Figura 23 ilustra as áreas de atividade com as quais a Águas e Energia do Porto, E.M. trabalha.



Figura 23- Áreas de atividade da empresa [12]

3.3 Águas e Energia do Porto, E.M. atualmente

A Águas e Energia do Porto, E.M. é das maiores empresas portuguesas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais, tendo servido, em 2021, 160 476 clientes. [74]

Diariamente são fornecidos, em média, 45 130 m^3 de água aos clientes através de uma rede de condutas com 813 km de extensão.

A empresa fornece água a clientes de diferentes tipos, sendo que se dividem entre clientes de tipologia doméstico, social (como é o caso das Instituições Particulares de Solidariedade Social- IPSS), empresarial, público (no qual se incluem, por exemplo, centros de saúde, hospitais e escolas), autárquico e ainda consumos próprios.

A Tabela 8 expressa a distribuição do número de clientes e respetiva percentagem em função da sua tipologia.

Tabela 8- Número de clientes por tipologia de consumo no ano de 2021 [12]

Tipo de cliente	2021	
	Número	Peso (%)
Doméstico	129 920	81,0
Social	391	0,2
Empresarial	28 652	17,9
Público	333	0,2
Autárquico	1 081	0,7
Próprios	99	0,1
Total	160 476	100,0

Relativamente ao consumo de água por parte dos diferentes clientes, importa compreender como ocorre a distribuição em função da sua tipologia. De um consumo total de 16 472 563 m^3 de água no ano de 2021, no âmbito deste trabalho, dá-se particular ênfase ao consumo autárquico e consumos próprios que tiveram uma expressão de 677 264 m^3 e 217 588 m^3, respetivamente.

Na Tabela 9 são apresentados os valores de consumo em m^3 e respetiva distribuição percentual em função do tipo de cliente. [12]

Tabela 9- Distribuição percentual de água vendida em função da tipologia de cliente [20]

Tipo de cliente	2021	
	Consumo (m^3)	Peso (%)
Doméstico	10 679 743	64,8
Social	816 095	5,0
Empresarial	3 647 293	22,1
Público	434 580	2,6
Autárquico	677 264	4,1
Próprios	217 588	1,3
Total	16 472 563	100,0

A qualidade da água distribuída é garantida pelo laboratório de análises da empresa que realiza 25 063 análises por ano, das quais 18 747 na rede pública (rede de abastecimento da responsabilidade da Entidade Gestora) e 6 320 na rede predial (rede da responsabilidade do cliente). [74] Segundo o indicador "Água Segura", a água que chega à torneira dos consumidores cumpre níveis de excelência em ambas as redes de distribuição (pública e predial). Este indicador rege-se pelo Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, e as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, relativos à qualidade da água para consumo humano. A análise dos dados aponta para um

cumprimento paramétrico de 99,74 % tendo como referência os valores fixados na legislação vigente. [12]

Relativamente ao saneamento, a empresa recolhe diariamente 56 819 m^3 de águas residuais que são conduzidas por uma rede coletora com cerca de 556 km de extensão e tratadas nas duas ETAR existentes no município - Freixo e Sobreiras. [12]

Paralelamente, a Águas e Energia do Porto, E.M. é também responsável pela drenagem de águas pluviais através de 662 km de rede de coletores e pela gestão de 3 km de extensão de orla costeira na qual se incluem nove praias, todas com águas balneares de qualidade excelente. [74]

São vários os projetos que se destacam estando relacionados com a escassez de água. Seguidamente estes serão apresentados incidindo nos eixos de redução de perdas, implementação de soluções baseadas na natureza (NBS) e utilização de água de outras origens.

3.3.1 Redução de Perdas

O município do Porto destaca-se pelos baixos valores de perdas de água tendo atingido o valor de 14,78 % em 2021, prevendo-se o fecho de 2022 em 13,60 %. Estando abaixo da fasquia dos 15,00 % coloca a empresa no grupo das 20 melhores entidades gestoras nacionais definido pela ERSAR. Ainda assim este valor representa um volume anual de perdas de 2 855 940 m^3 de água, um equivalente à média diária de 7 824 m^3. [12]

Para que a empresa fosse capaz de reduzir as suas perdas reais foram essenciais medidas como a formação de equipas que localizam e reparam continuamente fugas de água na cidade, a utilização de tecnologia que permite a previsão, localização de ocorrências na rede pública, nomeadamente recorrendo a inteligência artificial, reduzindo o tempo entre a emissão de alertas, a deteção de roturas e a reparação das mesmas.

A Figura 24 ilustra estes eixos de atuação no sentido de reduzir as perdas reais.

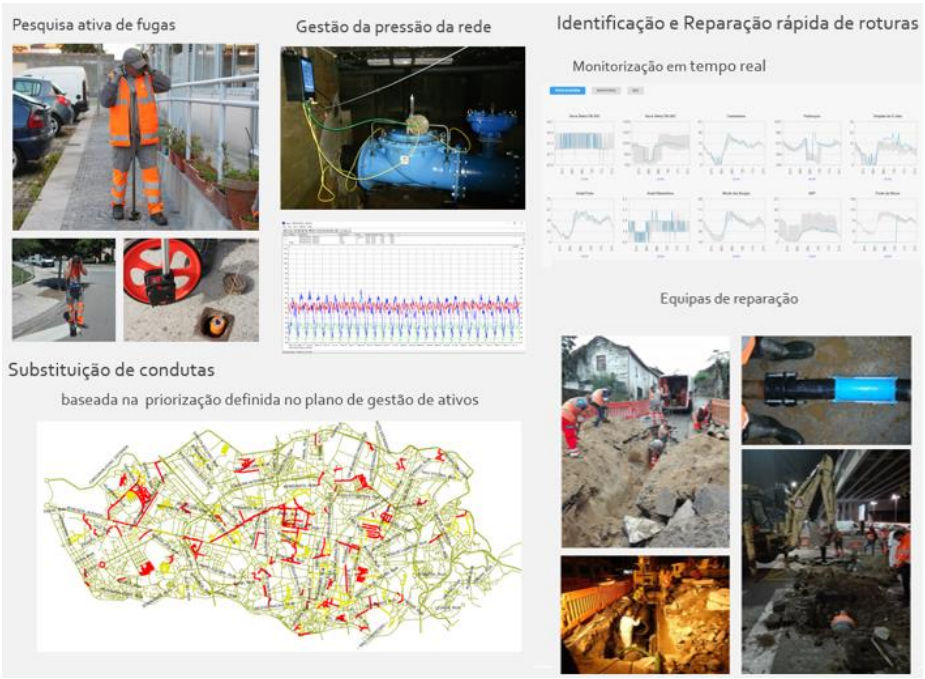


Figura 24- Eixos de atuação ao nível da redução das perdas reais. [Imagem cedida pela AEdP]

A empresa desenvolveu ainda um modelo de avaliação de risco que facilita a previsão do estado das infraestruturas priorizando as condutas a reabilitar através de substituição de condutas problemáticas com materiais obsoletos, melhorando assim a manutenção da rede.

No sentido da redução das perdas aparentes é ainda bastante relevante o trabalho de renovação do parque de contadores, sendo que foram substituídos 25 580 contadores em 2021, nomeadamente equipamentos que apresentam avarias e que estão em submedição, sendo que o parque de contadores apresentava, nesse ano, uma idade média de cinco anos e quatro meses. Foram ainda instalados contadores que permitem a leitura por telemetria. Esta tecnologia encontra-se aplicada em 93 632 clientes, o que corresponde a 58,8 % do total de clientes da AEdP. Esta forma de comunicação do consumo permite a obtenção de mais dados para uma gestão mais eficaz através da deteção mais célere de anomalias. Foram ainda detetados e resolvidos, no ano de 2021, 2 092 situações de ilícitos.

Na Figura 25 são apresentados valores relativos ao índice de Água Não Faturada da Águas (ANF) e Energia do Porto, E.M. entre 2015 e 2021, em termos diários que demonstram a redução das perdas de água. A linha azul-escura representa o valor de água que entrou no sistema, a azul-claro a quantidade de água faturada e, por último, a cor de laranja, o valor referente à água não faturada.

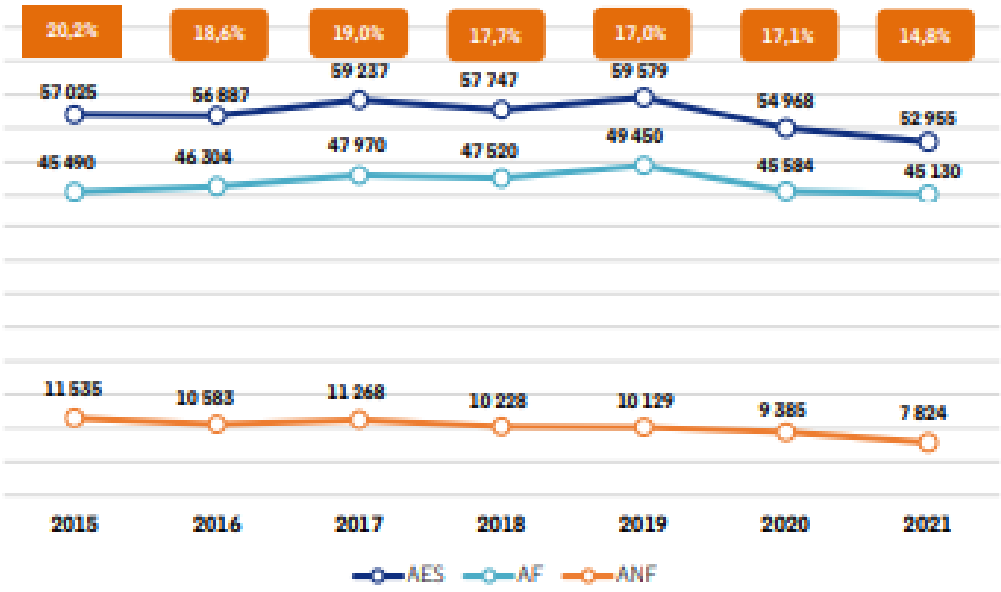


Figura 25- Água que entra no sistema, água faturada e água não faturada (m³/dia) entre 2015 e 2021. [12]

Este trabalho que tem sido realizado contribui para a sustentabilidade ambiental e económica não só da empresa, mas também do município. [12]

Avaliando ainda o parâmetro económico relevante para os clientes, o custo de imputado à água, de acordo com informações disponibilizadas pela ERSAR, o encargo mensal para uma família cujo consumo de água seja 10 m³/dia foi, no ano de 2021, 25,43 €. Para o mesmo padrão de consumo e igual período, um cliente da empresa Águas e Energia do Porto, E.M., recebeu uma faturação mensal média de 15,77 €, cerca de 10 € inferior à média mensal nacional apresentada anteriormente.

3.3.2 Implementação de soluções NBS nas linhas de água

Os rios e ribeiras do Porto são um exemplo da gradual artificialização dos ecossistemas fluviais que atravessam uma área urbana de génese secular. Dos cerca de 85 km de linhas de água que cruzam a cidade, 82 % desta extensão encontra-se entubada. Reconhecendo a importância dos recursos hídricos como fator de desenvolvimento sustentável das cidades e contribuindo para a qualidade de vida urbana e valorização do património natural e paisagístico, a Águas e Energia do Porto, E.M., promove a sua gestão sustentável e integrada assente em três eixos estratégicos: despoluir, desentubar e reabilitar.

No que se refere ao eixo que pretende despoluir, destacam-se as seguintes atividades:

Monitorização e controlo de afluências indevidas

- Monitorização de caudais com vista à setorização de bacias de saneamento;
- Ensaios de fumo;
- Inspeção visual de infraestruturas;
- Avaliação cadastral;
- Visita às redes prediais;
- Inspeção vídeo aos coletores;
- Avaliação da condição infraestrutural;
- Identificação de anomalias do desempenho hidráulico, ambiental e operacional;
- Contributo para a definição de ações corretivas para a reabilitação / renovação das infraestruturas públicas e instalação de soluções de controlo.

Os guardiões dos rios: inspeção, proximidade e limpeza de margens

A integração na equipa de operacionais que têm como missão a verificação das linhas de água, a deteção de afluências indevidas em troços a céu aberto, promovendo ainda a remoção de resíduos e obstáculos ao escoamento das águas do leito e das margens. De salientar ainda que a proximidade dos "guarda-rios" com a população que habita junto das margens tem funcionado como uma importante via de sensibilização e educação ambiental.

Os leitos e margens das linhas de água necessitam de um conjunto de cuidados específicos, com a finalidade de garantir boas condições hidrológicas e ecológicas, evitando a erosão das margens e a obstrução das infraestruturas entubadas. A realização de trabalhos de limpeza e manutenção de vegetação e árvores, assim como de manutenção e desassoreamento dos leitos que têm sido realizados destinam-se a minimizar efeitos associados à ocorrência de cheias e inundações. A Figura 26 ilustra alguns destes trabalhos.



Figura 26- Ações de limpeza e manutenção de leitos por equipa da AEdP. [Imagens cedidas pela empresa]

Ações de renaturalização e requalificação de linhas de água utilizando técnicas NBS

No eixo da reabilitação e com o propósito de desentubar linhas de água podem referir-se:

- Várias intervenções na Ribeira da Granja;
- Valorização das margens do rio Tinto e expansão do parque Oriental;
- Criação e inauguração do parque central da Asprela, que incluiu a reabilitação do leito e margens da ribeira e a criação de uma bacia de retenção natural para controlo de cheia e inundações.

As Figura 27Figura 28Figura 29 apresentam estes projetos já concretizados.



Figura 27- Renaturalização de 620 m da Ribeira da Granja – Troço Quinta do Rio: a) ribeira entubada; b) ribeira renaturalizada. [Imagens cedidas pela AEdP]



Figura 28- Requalificação do rio Tinto, Parque Oriental. [Imagens cedidas pela AEdP]

No primeiro trimestre de 2022 foi inaugurado o Parque Central da Asprela que contemplou a reabilitação do leito e margens da ribeira e a criação de uma bacia de retenção natural para promover o controlo de inundações.



Figura 29- Ribeira no Parque Central da Asprela. [Imagem cedida pela AEdP]

3.3.3 Exploração de águas de outras origens

3.3.3.1 Minas e Mananciais

Conforme referido na contextualização histórica da empresa, o primeiro aproveitamento de água foi efetuado no final do século XVI. Ainda hoje existem amplas redes de águas subterrâneas e algumas fontes ornamentais que são abastecidas pela água transportada nos mananciais de Paranhos e de Salgueiros. As Figuras seguintes representam algumas zonas da Arca d'Água.



Figura 30- Arca d´Água. [Imagens cedida pela AEdP]

3.3.3.2 Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)

Esta dissertação incide sobre outra forma de reaproveitamento de água através das águas residuais tratadas. O caso de estudo apresentado no capítulo 4 enquadra-se nas duas Estações de Tratamento de Águas Residuais existentes no Município do Porto: a ETAR do Freixo e a ETAR de Sobreiras. Para ambas será seguidamente explicado o seu enquadramento e tratamento realizado.

3.3.3.2.1 ETAR do Freixo

A ETAR do Freixo localiza-se junto à rotunda do Freixo, na freguesia de Campanhã, ocupa uma área de 3,5 hectares e tem como meio recetor do efluente tratado o rio Douro.

A ETAR do Freixo iniciou a sua atividade no ano 2000, tendo sido dimensionada para servir uma população equivalente de 170 000 habitantes e tratar um caudal médio diário de 35 900 m^3/dia.

As águas residuais recolhidas chegam à ETAR através de 4 coletores: Nascente, Rio Torto, Leste e Azevedo Campanhã. A ETAR trata ainda parte das águas residuais produzidas no concelho de Gondomar que as recebe através do intercetor de Rio Torto.

Esta ETAR é composta por 3 linhas de tratamento: a linha líquida, a linha de lamas e a linha de desodorização.

É na linha líquida que se realiza o tratamento das águas residuais sendo que nesta são efetuadas as seguintes 3 etapas de tratamento:

- Tratamento Preliminar- Nesta etapa pretende-se remover detritos com dimensões significativas tais como areias, óleos e gorduras. Para este efeito aplicam-se etapas de gradagem e remoção de areias e gorduras;

- Tratamento Primário- Destina-se à remoção da componente sedimentável dos sólidos em suspensão na água residual. Neste sentido ocorre a decantação primária lamelar que pode ser precedida por um condicionamento químico opcional com sal de alumínio;
- Tratamento Secundário- Nesta etapa ocorre a remoção dos compostos orgânicos e nutrientes como parte do azoto e do fósforo. Esta etapa é constituída por 2 reatores biológicos compostos por zonas anóxica e arejada, promovendo a nitrificação e desnitrificação, e 8 decantadores secundários.
- Tratamento Terciário- Etapa em que ocorre a desinfeção da água residual permitindo a sua posterior reutilização. Na ETAR do Freixo a desinfeção é realizada recorrendo a radiação ultravioleta em 2 canais nos quais estão instalados módulos de lâmpadas UV.

Na segunda linha, a linha de lamas, ocorrem as seguintes etapas:

- Espessamento das Lamas Brutas- Esta etapa é realizada por 2 órgãos, o espessador gravítico onde ocorre o espessamento das lamas primárias provenientes dos decantadores lamelares e as centrífugas para espessamento das lamas biológicas em excesso;
- Estabilização Biológica das Lamas- Nesta etapa dá-se um processo de estabilização das lamas mistas a uma temperatura média de 35^{o}C. Para esta etapa recorre-se à utilização de digestores primários aquecidos, digestores secundários, recirculação e aquecimento de lamas em digestão, gasómetro de armazenamento do biogás produzido, sistema de aproveitamento do biogás para aquecimento das lamas;
- Desidratação das Lamas Digeridas- Após a sua digestão, as lamas são desidratadas reduzindo os sólidos a 30 % do seu teor original. Ocorre assim o condicionamento químico com polímero e a desidratação em centrífugas;
- Estabilização Química- Nesta fase as lamas anteriormente desidratadas são sujeitas a uma estabilização química com cal viva que promove a estabilização das lamas antes do seu transporte para o destino final;
- Armazenamento- Por último, antes do transporte das lamas para o destino final, estas são armazenadas num silo com capacidade de armazenamento de 160 m^3 de lamas.

A última linha, a de tratamento de odores, é constituída por um circuito de extração de ar contaminado e de um sistema de tratamento por lavagem química.

No final do tratamento o efluente tem uma qualidade suficiente para ser reutilizada para rega e como água de serviço no interior da ETAR. [75]

Nesta ETAR foi ainda implementado um projeto piloto para produção de água para reutilização (classe A), e a que se refere o caso de estudo desenvolvido no capítulo 4.

3.3.3.2.2 ETAR de Sobreiras

A ETAR de Sobreiras localiza-se na freguesia de Lordelo do Ouro e ocupa uma área de 1,6 hectares, menos de metade da área ocupada pela ETAR do Freixo, sendo também o seu meio recetor o rio Douro.

No princípio do século XX a cidade do Porto assumiu um papel pioneiro criando um sistema de redes coletoras que culminava num tanque coletor localizado em Sobreiras que permitiu reduzir as descargas poluentes que até então eram encaminhadas para o rio Douro. Apesar de ser um sistema inovador, o princípio de rejeição das águas residuais consistia em conduzi-las para o Oceano Atlântico sendo que ao longo dos anos houve uma ampliação das redes coletoras acompanhando a expansão urbanística da cidade. Aquando da conceção da ETAR, foi desenhado um sistema de tratamento que hoje permite conferir uma boa qualidade ao efluente em relação à sua utilização. Foram impostas restrições significativas a esta ETAR que evitam distúrbios ambientais, emanação de odores, ruídos e poeiras permitindo a integração desta infraestrutura na cidade.

Devido às características do terreno e de forma a minimizar o impacte visual das construções, a maior parte das estruturas de tratamento da ETAR encontra-se no subsolo partindo da cota da Rua de Sobreiras e terminando à cota da Rua de Gaspar Correia. Esta característica permite ainda que a cobertura dos principais órgãos de tratamento seja tapada por vegetação.

Nos dias de hoje, a ETAR de Sobreiras trata as águas residuais domésticas da parte ocidental da cidade do Porto e tem uma capacidade de tratamento para servir um equivalente populacional de 200 000 habitantes.

Apesar das diferenças ao nível da linha de lamas, - a ETAR do Freixo inclui etapa de digestão e consequente produção de biogás e a ETAR de Sobreiras não -, a linha líquida da ETAR de Sobreiras não apresenta diferenças significativas em relação à ETAR do Freixo.

Ao Tratamento Preliminar acresce a etapa de tamisação com o objetivo de remover sólidos de menor dimensão através deste processo mecânico.

Denota-se também uma diferença no Tratamento Secundário cujo objetivo é a remoção de compostos orgânicos e nutrientes sendo que nesta ETAR o reator biológico é constituído por 3 zonas, a zona anóxica, a zona arejada e a zona endógena.

No Tratamento Terciário verifica-se também o acréscimo da filtração em leito de areia a montante da desinfeção por radiação ultravioleta. [76]

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

4.1 Metodologia desenvolvida

O trabalho prático realizado no âmbito desta dissertação que implicou a componente de visitas ao terreno debruçou-se, essencialmente, na análise e estudo de soluções de modo a implementar um sistema piloto de produção e adução de água na ETAR do Freixo. No entanto, de modo encontrar conclusões relevantes para este estudo numa visão holística, foram efetuadas diversas análises e trabalho fundamental que seguiu a metodologia descrita no esquema apresentado na Figura 31.

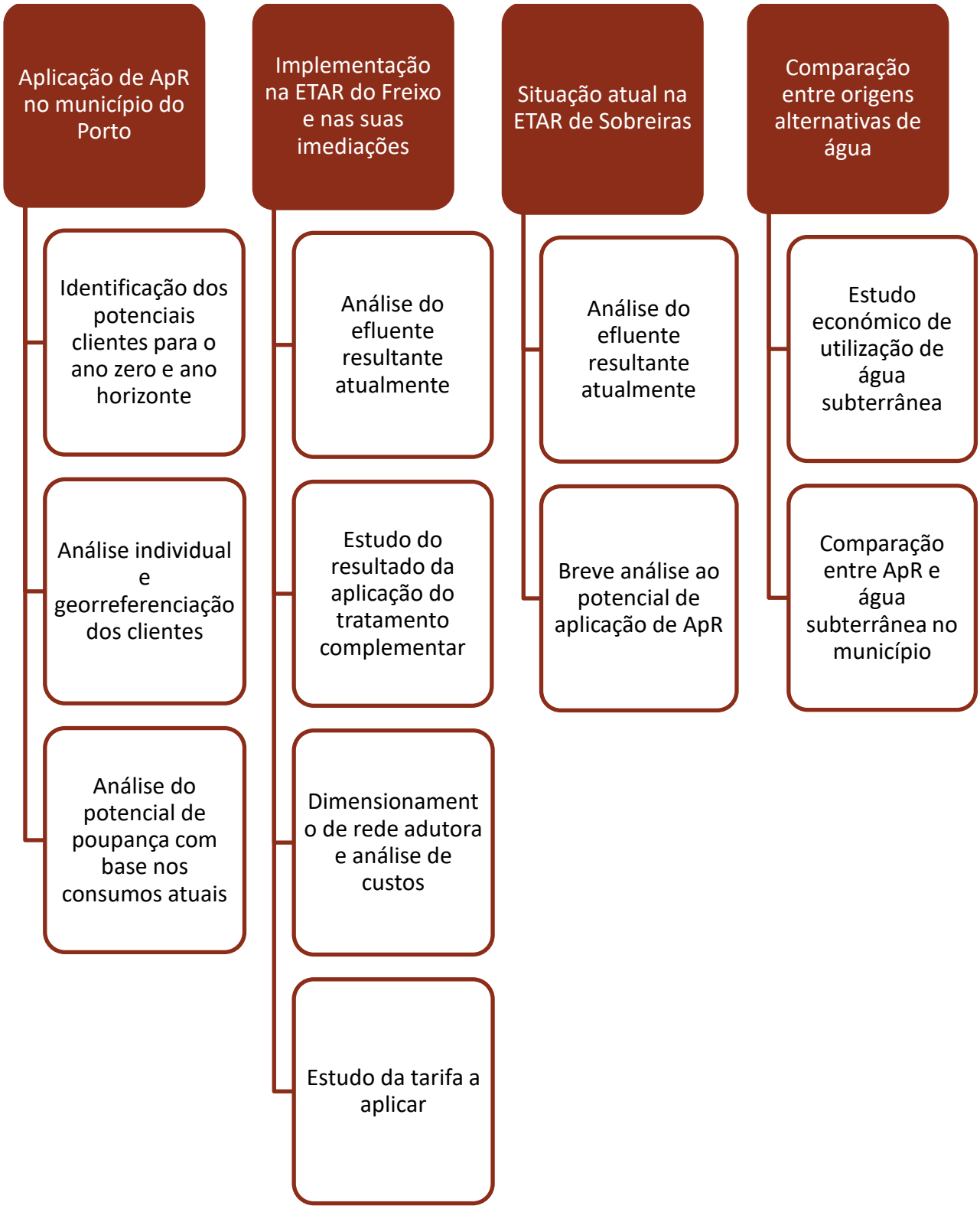


Figura 31- Esquema da metodologia desenvolvida ao longo do trabalho.

4.2 Possibilidades de proveniência da água em contexto municipal

Na cidade do Porto encontram-se duas fontes primordiais de água que podem fazer face aos consumos para rega e usos urbanos sendo estas a água residual tratada e a água subterrânea. Surge ainda, à semelhança de outros pontos do globo e dada a proximidade ao Oceano Atlântico, a possibilidade de dessalinização. No entanto, tendo em conta a disponibilidade hídrica no município, não é espectável o surgimento desta necessidade.

Relativamente à água subterrânea no município, numa fase inicial, ponderou-se fazer um estudo tendo em consideração o atual consumo de água potável proveniente da rede de abastecimento e o consumo oriundo de furos que permitem o acesso a águas subterrâneas. No entanto, a quantidade de água subterrânea consumida não é alvo do mesmo rigor de quantificação que a água proveniente da rede. Esta limitação impediu este estudo detalhado, tendo sido apenas possível considerar os atuais consumos referentes à água proveniente da rede de abastecimento e a possibilidade de proveniência da água subterrânea sem a análise concreta do seu consumo atual.

Ainda relativamente às águas subterrâneas, é essencial ter em atenção o facto da exploração dos aquíferos ter um limite. A sobre-exploração deste recurso pode conduzir, não só à escassez de água a jusante, como também à infiltração de água salgada proveniente do mar e consequente deterioração dos aquíferos, como aliás já se verificou em alguns locais.

O município do Porto apresenta uma grande atividade urbana que, na sua maioria, não necessita de elevadas quantidades de água (não tem uma elevada área de exploração agrícola, por exemplo), alberga ricas bacias hídricas (conforme demonstrado anteriormente) e regista elevados valores de pluviosidade. Estes fatores permitem que a cidade não experiencie situações de escassez de água. No entanto, seguindo as recomendações do Governo para as ETAR da cidade e num sentido de sensibilização ambiental, diminuição de pressão sobre os sistemas hídricos, criação de confiança para estas soluções por parte da população e gestão integrada dos recursos, importa implementar estratégias que permitam a redução do consumo da água potável e, neste caso em particular, a reutilização de águas residuais. Paralelamente, deve também apostar-se na implementação de soluções baseadas na natureza promovendo o alcance de 3 propósitos, sendo eles a recarga dos aquíferos, o controlo de cheias e inundações e a

promoção da melhoria da qualidade de vida dos habitantes associada ao contacto com a natureza.

4.3 Estudo do potencial de aplicação de ApR no município

De modo a compreender o potencial de poupança deste recurso, foram identificadas as instalações cujas fonte de água poderia ser alternativa de modo a, posteriormente, ser possível dimensionar a rede que permitirá fazer esta substituição. Assim, seguidamente, serão apresentados os potenciais clientes desta alternativa, justificada a sua escolha e ainda detalhado o potencial de poupança deste recurso com base no seu consumo real.

4.3.1 Potenciais clientes

Para a execução deste trabalho avaliou-se quais seriam os principais clientes com os quais poderia ser estudada esta alteração à forma de abastecimento. Percebeu-se que os clientes autárquicos e para consumos próprios representam as instalações que, numa fase inicial, seriam uma melhor opção para implementação deste projeto piloto. Este projeto enquadra-se nos objetivos definidos pelo município, nomeadamente no âmbito do Pacto do Porto para o Clima, sendo possível assim a Câmara Municipal do Porto e a Empresa Águas e Energia do Porto, E.M., trabalharem em harmonia no sentido do cumprimento dos objetivos.

Numa fase mais avançada e numa perspetiva de expansão desta forma de abastecimento de água, será pertinente considerar outros clientes como:

- Equipamentos desportivos nas imediações das ETAR, estas infraestruturas estão, frequentemente, associadas a elevados consumos de água dada a necessidade de rega de relvados. Paralelamente, representam também um veículo de comunicação eficaz com a população uma vez que se associam à procura de mitigação de uma problemática ambiental e demonstram confiança na qualidade do efluente, sendo assim um exemplo de mudança para a sociedade civil;
- Empresas que concessionam infraestruturas como estradas uma vez que estas são normalmente ladeadas por zonas verdes. No caso da ETAR do Freixo poderia ser aplicado à estrada da Via de Cintura Interna (A20) e à autoestrada número 43 (A43);

- Estaleiros de manutenção e aparcamento de transportes públicos onde se usa água para, por exemplo, lavagem dos veículos. Próximo à ETAR do Freixo encontra-se uma oficina destinada às carruagens de comboios em Contumil e uma zona de aparcamento de autocarros em Bonjóia;
- Terminal Intermodal de Campanhã, recentemente inaugurado, destaca-se não só pelo consumo elevado de água para rega de espaços verdes e pela proximidade à ETAR do Freixo, menos de 1 km em linha reta, mas também pela possibilidade de utilização de água para lavagem das viaturas;
- Unidades fabris para arrefecimento de equipamentos, tendo em consideração este potencial de utilização pode considerar-se a indústria como um futuro recetor desta origem de água. Perto da ETAR do Freixo encontram-se, por exemplo, uma unidade de fabrico de sabões e uma indústria destinada à moagem de cereais.

Numa fase mais avançada, poderá, inclusivamente, ser vantajoso considerar a hipótese de distribuir ApR a outros municípios vizinhos. Este poderá ser um cenário de simbiose entre municípios uma vez que permitirá amortizar o investimento efetuado pela empresa Águas e Energia do Porto, E.M, e atingir as metas propostas com maior facilidade dado o aumento de consumo de ApR e, por outro lado, permitirá a concelhos vizinhos usufruir desta solução de reutilização de águas residuais tratadas evitando a necessidade de um elevado investimento inicial. Este argumento ganha especial expressão quando considerada a possibilidade de utilização de ApR para instalações industriais (como arrefecimento de equipamentos) uma vez que o município do Porto apresenta, essencialmente, atividade urbana ao contrário de outros municípios vizinhos.

4.3.2 Referenciação e justificação

Após ter sido decidido, em conjunto com a equipa, que este projeto piloto deveria ser implementado a clientes de tipologia de autarquia e para consumos próprios, foi necessário identificar estes clientes e analisar os seus consumos.

Foi efetuada uma consulta à base de dados, tendo chegado a um grande número de instalações que cumpriam os requisitos iniciais (tipologia de cliente e usos compatíveis com ApR).

Foram analisados vários usos de modo a compreender a sua viabilidade. Ao longo deste processo foram descartadas instalações referentes a, por exemplo, parques de estacionamento e cemitérios. No primeiro caso, o custo elevado associado à necessidade de divisão entre a rede que distribui a água potável e a rede de ApR não se justificava tendo em conta os consumos pouco significativos verificados. Relativamente aos cemitérios, a situação verificada é semelhante tendo considerando a rede unitária de abastecimento a bebedouros e outros pontos de água. Outra causa para a sua não consideração foi a possibilidade de uso indevido de ApR, podendo não ser respeitado o aviso de "água imprópria para consumo".

Posteriormente, foi feita uma análise meticulosa de modo a garantir que as instalações selecionadas cumpriam os requisitos exigidos na legislação vigente, isto é, que a água proveniente de reutilização não seria utilizada para consumo humano e estaria destinada, exclusivamente, a irrigação e outros usos urbanos.

Chegou-se assim a um total de 667 instalações que poderão ver o seu sistema de abastecimento de água complementado por uma rede alternativa. De entre o total das instalações, são variadas as utilizações atribuídas à água. Uma grande quantidade destina-se à rega de espaços verdes, jardins e hortas. No entanto, o consumo divide-se também para o enchimento de camiões que cumprem propósitos como a desobstrução da rede de saneamento, por exemplo, etapas de tratamento e outros usos internos nas Estações de Tratamento de Águas Residuais, limpeza de pavimentos, ecocentros, e para combate a incêndios.

A Tabela 10 demonstra a distribuição dos clientes em função da utilização à qual a água se destina, sendo que a rega se destaca de entre a totalidade dos usos. Importa ainda referir

que são consideradas apenas a quantidade de instalações associadas a cada utilização o que poderá não se refletir no seu consumo, essa análise será feita no ponto 4.4.3.

Tabela 10- Distribuição da quantidade de instalações em função da tipologia de utilização

Tipo de uso	Quantidade de instalações	Peso (%)
Rega	601	90,1
Volantes	32	4,8
Camiões	13	1,9
Limpeza	11	1,6
ETAR	4	0,6
Hidrantes	3	0,4
Ecocentros	2	0,3
Combate a incêndios	1	0,1
Total	667	100

4.3.3 Georreferenciação

Após triagem dos clientes e respetivas instalações que poderiam ser alvo deste projeto piloto, foi necessário identificar a localização de cada instalação de modo a compreender a distribuição geográfica dos consumos e, com base nesta informação, melhor perceber e dimensionar a rede de abastecimento.

As instalações foram georreferenciadas recorrendo ao software de Sistema de Informação Geográfica QGIS. Esta etapa do trabalho foi realizada com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica da Câmara Municipal do Porto de forma a localizar os locais com maior rigor. Foi assim elaborada a Figura 32 que apresenta o mapa com a localização aproximada de todas as instalações, estando estas organizadas com um código de cores que permite ter perceção do consumo médio mensal em função da sua distribuição.

A cor branca encontram-se as instalações que nos últimos dois anos não registaram qualquer consumo. Nestes casos, é importante considerar as instalações e garantir que, caso os clientes pretendam o fornecimento de água e, tendo em conta que têm um contrato ativo, têm o abastecimento assegurado. As cores seguintes, conforme evidenciado na legenda, representam os intervalos de consumo médio mensal em m^3.

Os dados referentes a contadores-volante não foram georreferenciados uma vez que a sua utilização é independente do local. Isto é, um contador volante é ligado diretamente a um marco de incêndio para efeitos diversos, como limpeza urbana, obras, enchimento de cisternas de bombeiros, etc. No entanto, os volumes consumidos foram contabilizados na

totalidade de água residual que poderá ser reutilizada de forma a assegurar-se água também para esta necessidade urbana.

De igual modo, os bombeiros procedem ao abastecimento dos camiões em vários locais dependendo da emergência em causa. Assim os abastecimentos em bocas de incêndio ou marcos de incêndio (hidrantes) são contabilizados com recurso a contadores ou apenas estimativa do volume abastecido, dependendo da urgência de abastecimento. Este enchimento pode ocorrer também em vários locais sendo por isso apenas considerado um valor total e não os pontos georreferenciados uma vez que o consumo naqueles pontos não é uma necessidade regular.

Através dos números que se encontram junto a cada intervalo de consumo é possível observar a quantidade de consumidores enquadrados em cada um desses intervalos, sendo assim percetível que a maior quantidade (224 instalações) apresenta um consumo médio mensal compreendido entre 0,01 e 10 m^3. Por outro lado, em menor quantidade, apenas onze instalações, destacam-se os grandes consumidores que apesar da sua inferioridade numérica apresentam um consumo médio mensal até cinquenta vezes superior.

É ainda visível que a distribuição de consumo pela cidade é uniforme em termos de consumo, não se destaca uma zona específica com maior consumo, no entanto observa-se uma menor densidade de instalações na zona norte da cidade.

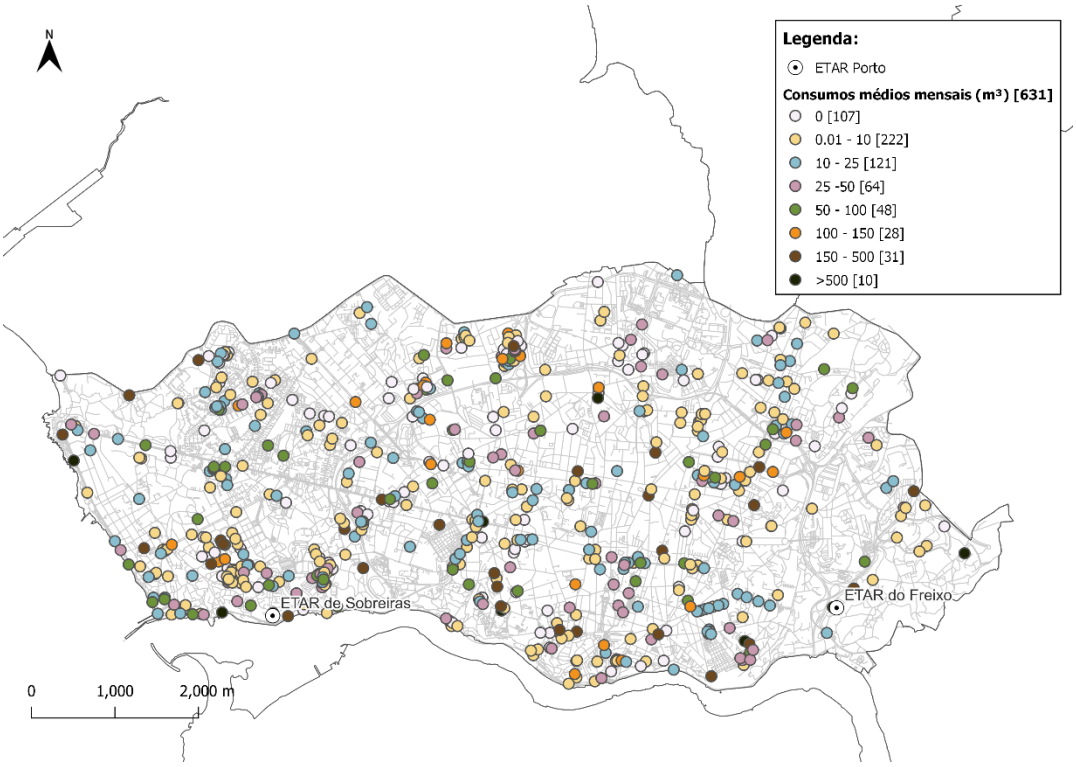


Figura 32- Distribuição geográfica das várias instalações em função do consumo médio mensal.

No caso da utilização destinada ao combate a incêndios foi feita uma diferenciação entre o abastecimento que acontece no quartel (feito sempre no mesmo local) e o abastecimento dos camiões recorrendo a hidrantes (enchidos em bocas ou marcos de incêndio). A segunda tipologia não foi georreferenciada uma vez que não acontece sempre no mesmo local. O mesmo aconteceu com o registado efetuado através de contadores-volante que podem não ser registados sempre no mesmo local podendo ser alocados a diferentes pontos ao longo do tempo. Para efeitos de contagem da quantidade da água consumida estas instalações foram consideradas não tendo sido, exclusivamente, georreferenciadas.

4.3.4 Potencial de poupança

Tendo em vista os objetivos estabelecidos pelo Ministério do Ambiente e da Ação Climática para as cinquenta ETAR nacionais com maior expressão nas quais se incluem as ETAR do Freixo e de Sobreiras foram calculados os caudais que devem ser reutilizados garantindo o cumprimento dos objetivos de 10 % até 2025 e 20 % até 2030.

Sabendo a quantidade de água tratada no ano de 2021 através do Relatório e Contas da empresa para esse ano, foi possível encontrar o valor total de efluente tratado em cada uma das Estações de Tratamento de Águas Residuais do município do Porto e estabelecer valores para os objetivos impostos conforme demonstra a Tabela 11.

Tabela 11- Caudais a ser tratados de modo a cumprir objetivos impostos [12]

	Caudal médio mensal (m^3/mês)	Reutilização necessária para cumprimento de metas			
		10 % até 2025		20 % até 2030	
		Mensal (m^3/mês)	Diária (m^3/dia)	Mensal (m^3/mês)	Diária (m^3/dia)
ETAR do Freixo	705 693	70 569	2 352	141 139	4 705
ETAR de Sobreiras	1 022 554	102 255	3 409	204 511	6 817
Total	1 728 247	172 825	5 761	345 649	11 522

Espera-se assim que no ano de 2025, com uma reutilização de 10 % das águas residuais tratadas nas ETAR, seja recirculado um volume de, pelo menos, 172 825 m^3 por mês, 70 569 proveniente da ETAR do Freixo e 102 255 proveniente da ETAR de Sobreiras.

De acordo com as recomendações da ERSAR, os clientes devem indicar à Entidade Gestora a sua intenção de utilização assim como os caudais máximo e mínimo de ApR a contratar, permitindo uma melhor definição do investimento a realizar e a tarifa a praticar.

4.3.5 Análise dos consumos de água

Os consumos de água são um ponto essencial na avaliação do potencial deste projeto.

Através deles é possível compreender informações que levarão a uma gestão e planeamento mais eficaz, nomeadamente a poupança de água potável expectável, identificar padrões de consumo e analisar detalhadamente o consumo o que permitirá o correto dimensionamento da rede, sendo exemplo o estabelecimento de perfis horários. Assim, neste capítulo do relatório serão explanados os vários pontos de análise de consumo que decorreram no âmbito desta dissertação.

Inicialmente, analisou-se o consumo médio das 667 instalações em estudo.

Foram necessários alguns ajustes aos valores considerados uma vez que o consumo associado às instalações pode não refletir o consumo real. Exemplo disso é o caso da ETAR do Freixo na qual o consumo indicado pela instalação é unicamente referente a usos como sanitários e locais de refeições. As restantes utilizações como rega, lavagem de pavimentos e em algumas etapas do processo de tratamento eram já realizadas com recurso a água resultante do tratamento pelo que, recorrendo a estimativas fornecidas pelos responsáveis da mesma, foram considerados estes valores.

No caso do quartel dos bombeiros considerou-se, de forma estimada, que 80 % do consumo fosse destinado ao combate a incêndios e outras ocorrências e que, por outro lado, 20 % fosse destinado a usos que têm a necessidade de água potável.

No caso de outras instalações que apresentam menores consumos, como é o caso dos ecocentros, o valor de consumo destinado a usos potáveis considerou-se residual.

Paralelamente, os consumos referentes à limpeza do espaço público não associados a uma instalação, mas sim através de abastecimento de camiões, foram também estimados pela Empresa de Ambiente do Porto, responsável pela gestão deste serviço público, tendo sido considerado um valor médio mensal de 4 200 m^3.

Esta análise permitiu perceber o consumo que será expectável, nomeadamente em função da tipologia de utilização. Deste modo, a Tabela 12 ilustra a distribuição pelo município de um total de cerca de 34 300 m^3 médios mensais, cerca de 1 100 m^3/dia, pelas diferentes utilizações. Assim, é possível compreender que o uso que consome mais água é a rega, representando cerca 79,48 % do total.

Analisando a localização das instalações e os seus consumos de água, foi ainda percetível que na área abrangida pela ETAR do Freixo apenas cerca de 270 m^3 de água são consumidos para fins compatíveis com ApR diariamente.

Tabela 12- Distribuição do consumo médio mensal em função da tipologia de utilização

Tipo de uso	Consumo total médio por mês (m^3)	Peso (%)
ETAR	1 500	4,37
Camiões	666	1,94
Ecocentro	106	0,31
Rega	27 277	79,48
Bombeiros e hidrantes	325	0,95
Limpeza	4 350	12,68
Volantes	94	0,27
Total	34 318	100

Posteriormente, foram analisados os consumos mensais referentes a vinte e dois meses, entre janeiro de 2021 e outubro de 2022, de todas as instalações. Através destes dados foi possível chegar a várias conclusões.

Inicialmente, foi importante encontrar os consumos máximos ao longo do período em análise. Estes definem a quantidade de água que deve ser assegurada a cada instalação de modo a garantir o cumprimento do abastecimento necessário. Este passo foi ainda essencial para compreender discrepâncias entre períodos homólogos dos dois anos em análise. Estas diferenças foram analisadas com os departamentos responsáveis pelos seus usos tendo como justificação situações como obras de reabilitação dos locais, por exemplo.

Posteriormente, após tratamento de cerca de três milhões de dados recolhidos referentes aos consumos mensais de quase dois anos foram efetuados gráficos que relacionam os valores de leitura acumulada em função do tempo. Através destes foi possível verificar a existência de padrões de consumo. As instalações referentes ao uso para rega são as que se encontram em quantidade mais expressiva e por isso, e associada à sua utilização padronizada, foi possível compreender que em muitas delas, o consumo de água decaía para valores quase nulos entre os meses de outubro e abril, aproximadamente. Recorrendo ao conhecimento empírico, esta informação era expectável uma vez que nestes meses se verifica um aumento da pluviosidade e, consequentemente, uma diminuição da necessidade de rega. Ainda assim, foi importante comprovar esta informação com dados reais e verificar que outras instalações também destinadas a rega não verificam o mesmo

padrão tendo um consumo constante. Verifica-se este consumo em casos como o de grandes áreas com elevada necessidade de rega para as quais as águas pluviais não são suficientes.

Para outros usos como combate a incêndios e limpezas não se verificou qualquer padrão significativo, o que seria expectável dada a imprevisibilidade de uso da água para esses fins. Assim, as Figuras seguintes ilustram os padrões verificados. As Figura 33,Figura 34Figura 35 demonstram o padrão de interrupção na rega durante os meses de inverno e o consumo mais acentuado durante o verão. Por outro lado, a Figura 36 apresenta o consumo regular durante todo o ano neste caso associado a uma instalação com uma grande área de rega. Apesar destas situações acontecerem num número menos significativo foi também um padrão identificado nesta etapa de estudo. As instalações estão identificadas exclusivamente por letras por uma questão de proteção de dados.

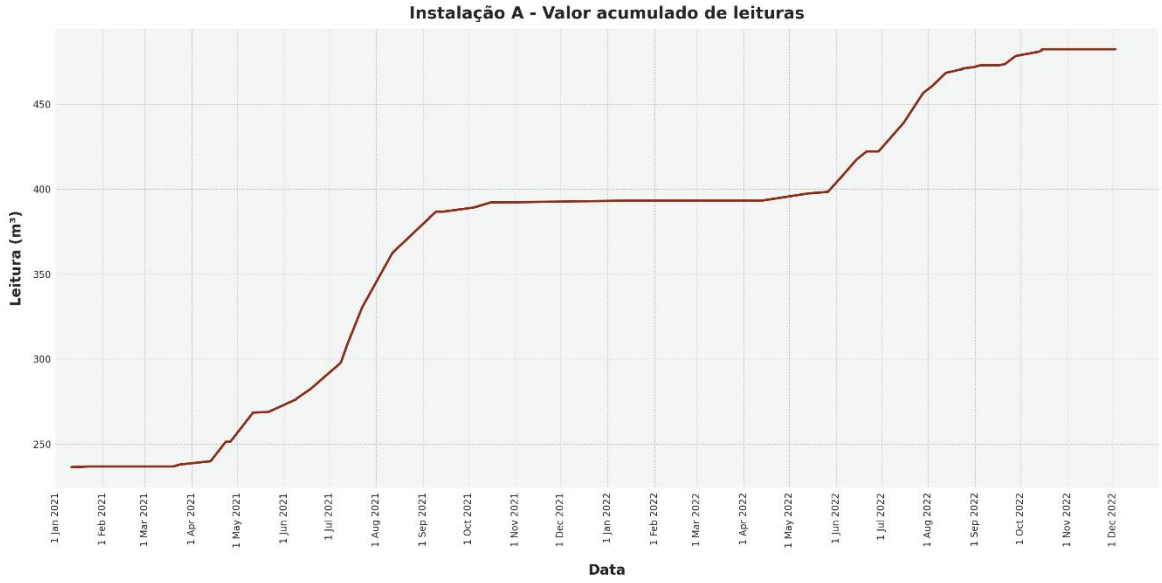


Figura 33- Primeiro exemplo de instalação com consumo mais elevado nos meses de menor pluviosidade.

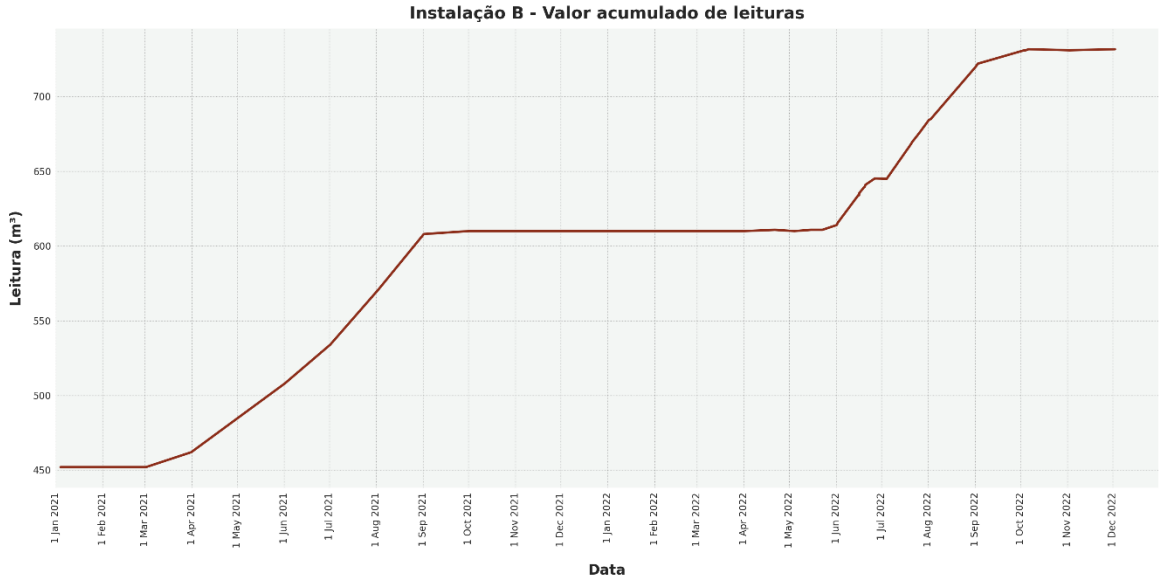


Figura 34- Segundo exemplo de instalação com consumo mais elevado nos meses de menor pluviosidade.

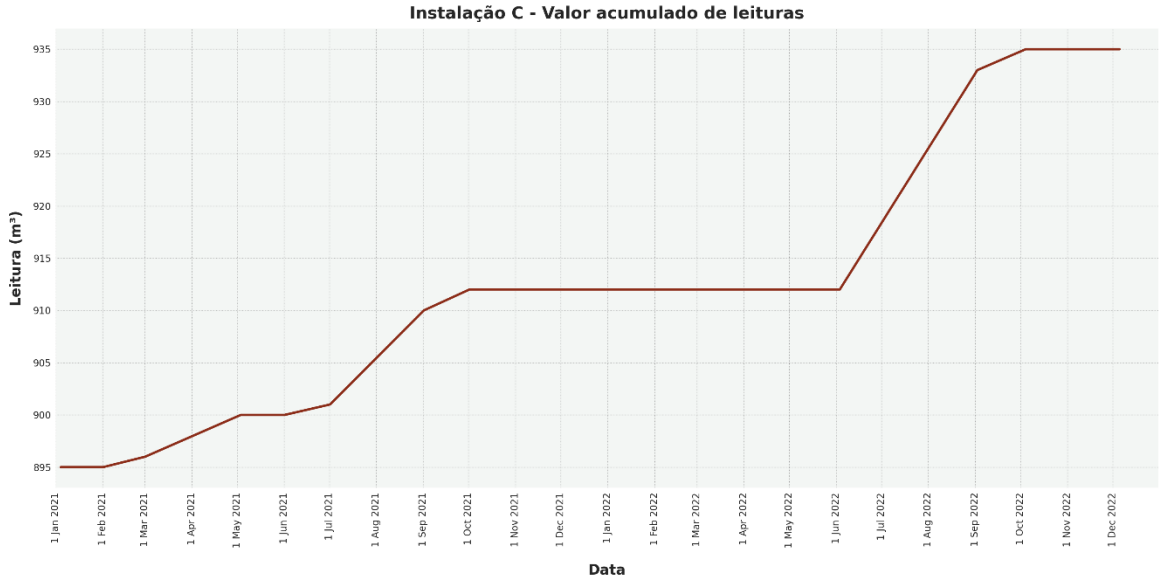


Figura 35- Terceiro exemplo de instalação com consumo mais elevado nos meses de menor pluviosidade.

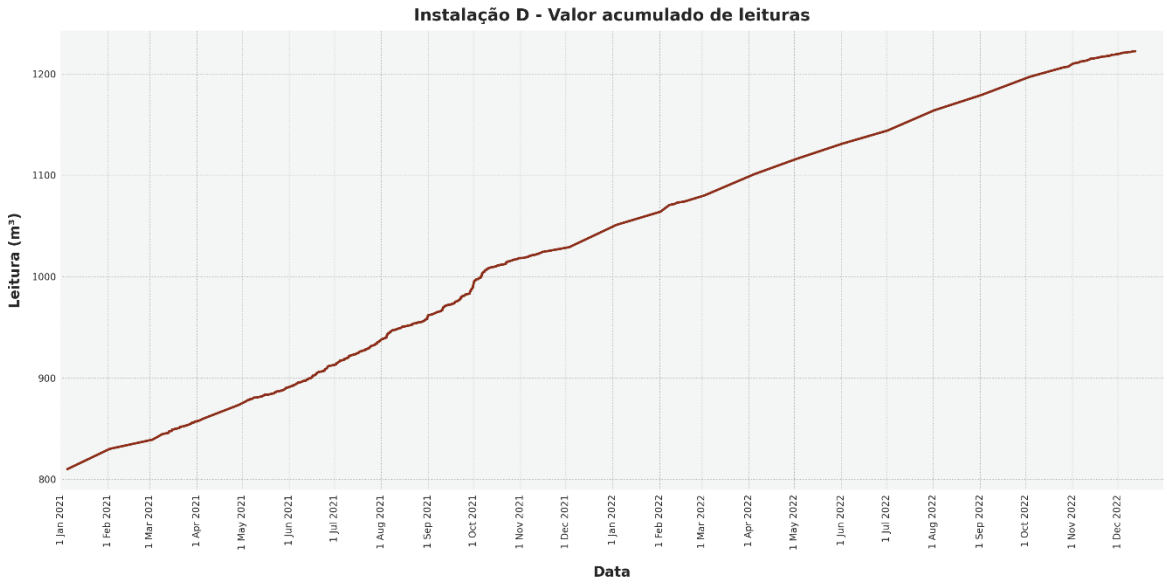


Figura 36- Instalação com consumo aproximadamente constante durante todo o ano sem diminuição significativa nos meses mais chuvosos.

Os dados podem ser obtidos de quatro modos distintos: por leitura de um colaborador que se desloca à instalação e lê diretamente o valor no contador; por comunicação por parte do cliente à empresa; por telemetria que se divide em dois tipos, a telemetria por *DriveBy*, isto é, que permite a transmissão dos valores de leitura entre o contador e um veículo que se desloca pelo município fazendo esta recolha, e telemetria que envia diretamente a informação a concentradores distribuídos pela cidade sendo que esta informação chega, posteriormente, à base de dados da empresa. Para este efeito pretendeu-se avaliar os dados obtidos através de telemetria uma vez que é a forma de comunicação que permite uma maior frequência de obtenção de dados.

Pretende-se iniciar este projeto com a instalação desta origem alternativa de abastecimento de água proveniente da ETAR do Freixo. Para uma sustentável distribuição a água proveniente desta ETAR deve abastecer-se a sua área circundante e o mesmo se aplica à ETAR de Sobreiras. Deste modo, estabeleceu-se um raio para o alcance da água proveniente da ETAR do Freixo. Esta distribuição foi feita de forma a servir, aproximadamente, metade da área geográfica do município e garantindo que, desde logo, os clientes com elevadas necessidades de consumo que se aproximavam desta fronteira seriam abrangidos. Assim, a Figura 37 demonstra a divisão efetuada sendo que à direita da linha vermelha se encontram os pontos em análise.

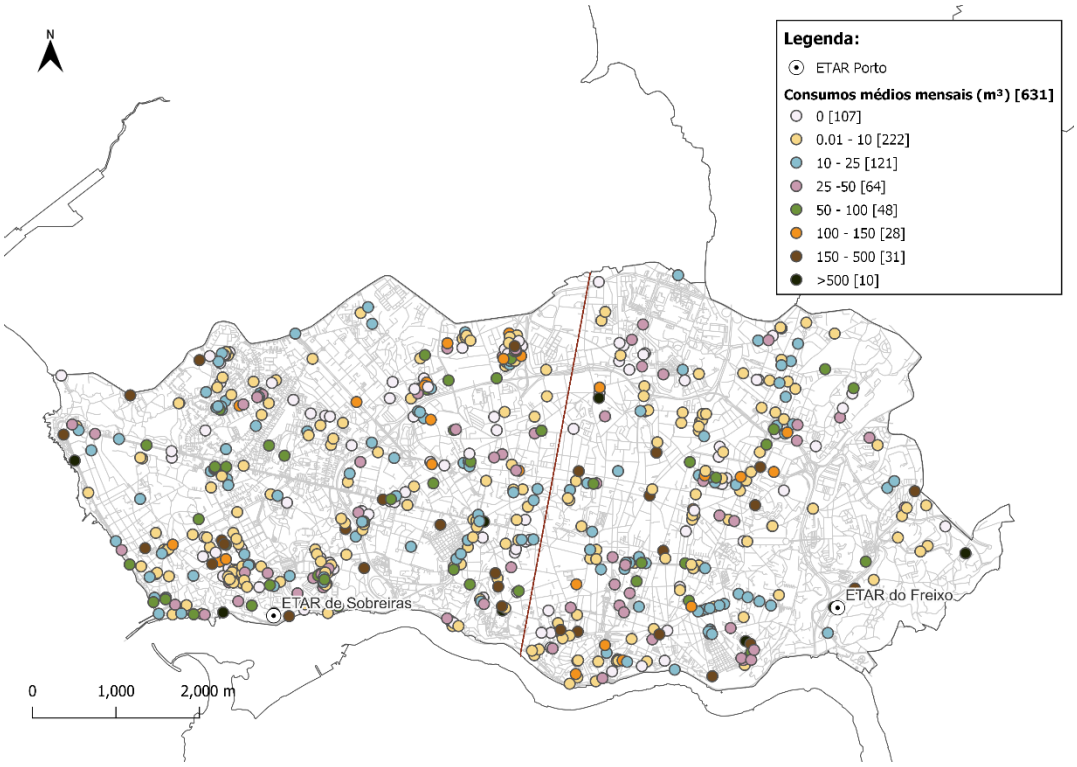


Figura 37- Representação da divisão efetuada no município para efeitos de análise.

Os dados referentes ao consumo médio mensal ao longo de, aproximadamente, dois anos referentes às instalações que se localizam nesta área foram analisadas com o intuito de estabelecer o perfil horário de consumo, informação essencial para o dimensionamento da rede adutora.

Foi realizada uma triagem separando as instalações que apresentavam registos horários por telemetria tendo como objetivo realizar gráficos dinâmicos que permitiram verificar a existência de padrões de consumo. Estes foram analisados detalhadamente de forma a compreender os ciclos de rega das instalações e os períodos nos quais a água é consumida.

Durante esta avaliação compreendeu-se que muitos dos ciclos de rega são efetuados durante o período noturno de modo a evitar as horas de maior calor, e, no caso de espaços de utilização pública, evitar também o transtorno de quem os frequenta.

Para a avaliação de padrões horários foram analisadas as instalações que comunicam os seus consumos por telemetria com frequência horária. De entre estas, verificaram-se algumas sem padrão de consumo ou com consumo zero ao longo dos 22 meses em estudo, tendo sido excluídas desta análise. Restaram assim 58 instalações que foram analisadas recorrendo a gráficos dinâmicos que permitiram estudar vários períodos de modo a encontrar um padrão. Exemplos destes gráficos são apresentados nas Figura 38, Figura

40Figura 42. Os gráficos relacionam a diferença entre os vários valores de medição comunicados por telemetria e o tempo decorrido obtendo assim imagens que permitem compreender a quantidade de água consumida num determinado período. A Figura 39 resulta de uma aproximação do gráfico apresentado na Figura 38, acontecendo o mesmo para a Figura 41 em relação à Figura 40. Assim, os gráficos seguintes ilustram o trabalho que foi realizado para a análise das várias instalações, representando o consumo como um todo e a imagem aproximada de períodos onde foi detetado padrão e, posteriormente, analisado. Esta metodologia permitiu estabelecer perfis horários para as várias instalações.

As Figura 38Figura 39 são referentes a uma instalação cujo consumo foi, aproximadamente, regular ao longo de todo o ano. São visíveis alguns *outliers* que poderão ser fruto de falhas de comunicação por telemetria apresentando por isso diferenças de consumo elevadas dado que o período de comunicação foi prolongado.

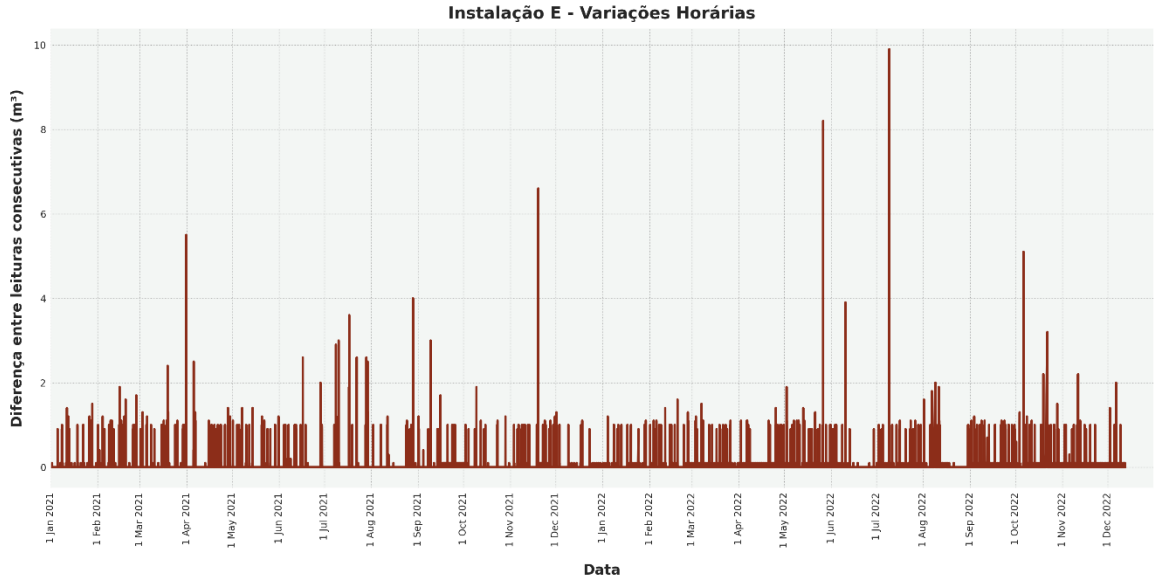


Figura 38- Instalação com leitura horária e padrão de consumo aproximadamente regular.

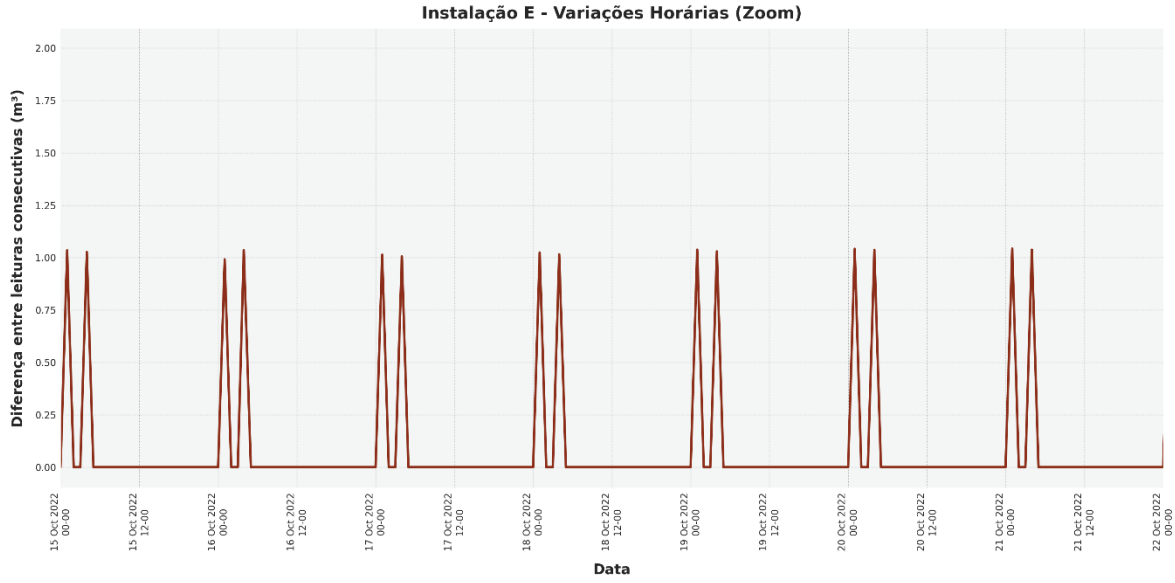


Figura 39- Vista aproximada de padrão de consumo registado na instalação E.

No caso seguinte, referente à instalação F, é apresentado um exemplo no qual se verifica consumo maioritariamente nos meses mais quentes, indo ao encontro do que foi descrito nos padrões de consumo. Ao contrário do que acontece na instalação E que apresenta dois picos de rega ao longo de um dia, a instalação F tem apenas um ciclo de rega diário.

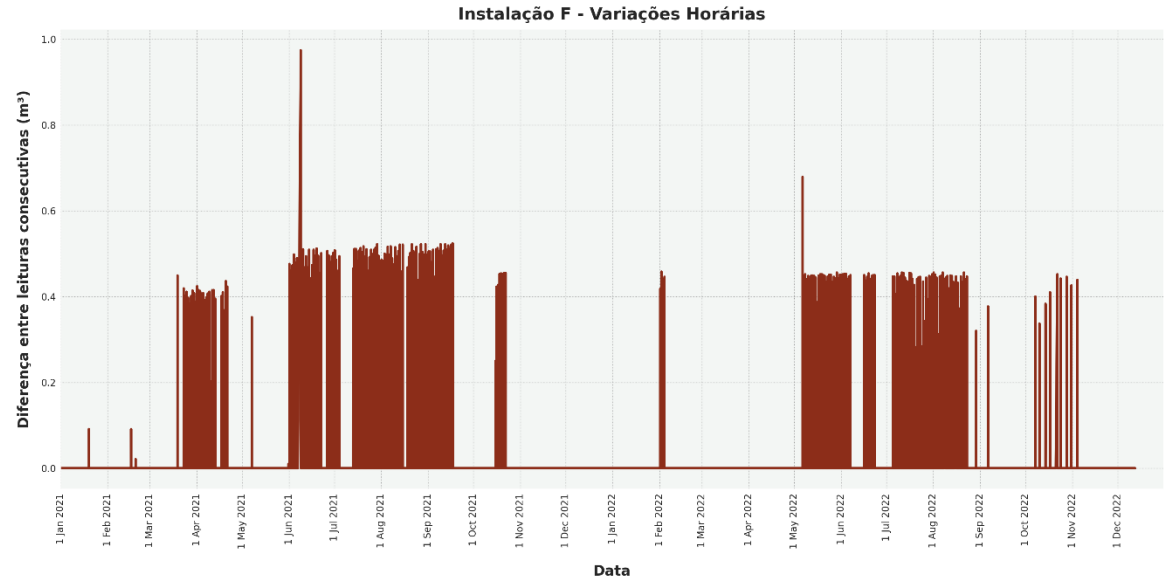


Figura 40- Instalação com leitura horária e padrão de consumo mais acentuado nos meses de verão.

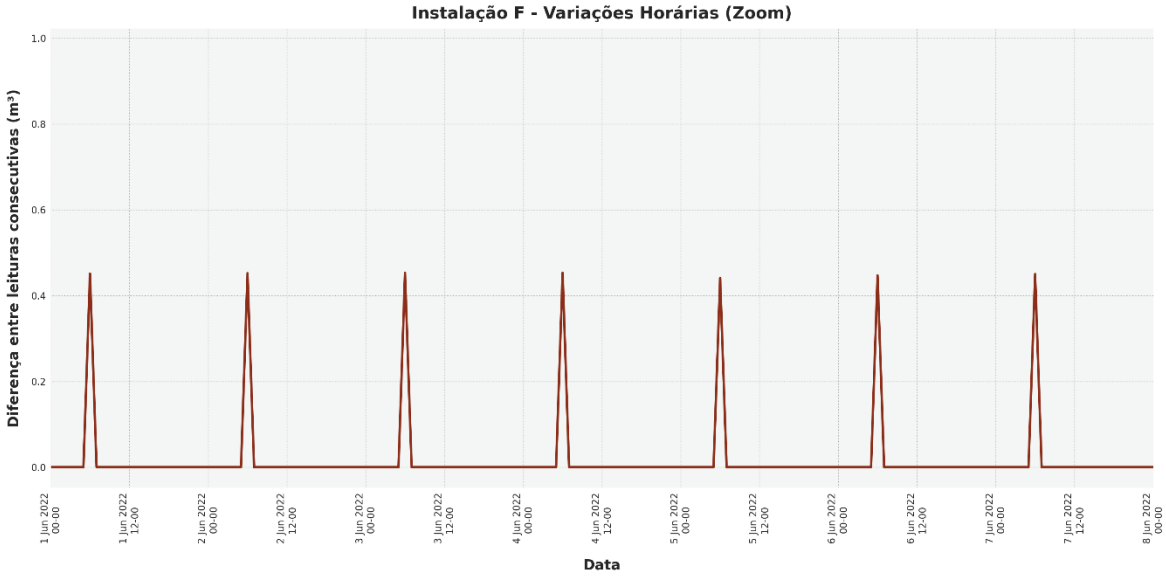


Figura 41- Vista aproximada de padrão de consumo registado na instalação F.

Por último, na instalação G não foi verificado nenhum padrão recorrente, sendo que apesar da instalação comunicar os seus consumos por telemetria, não apresenta um padrão regular não sendo por isso alvo de análise.

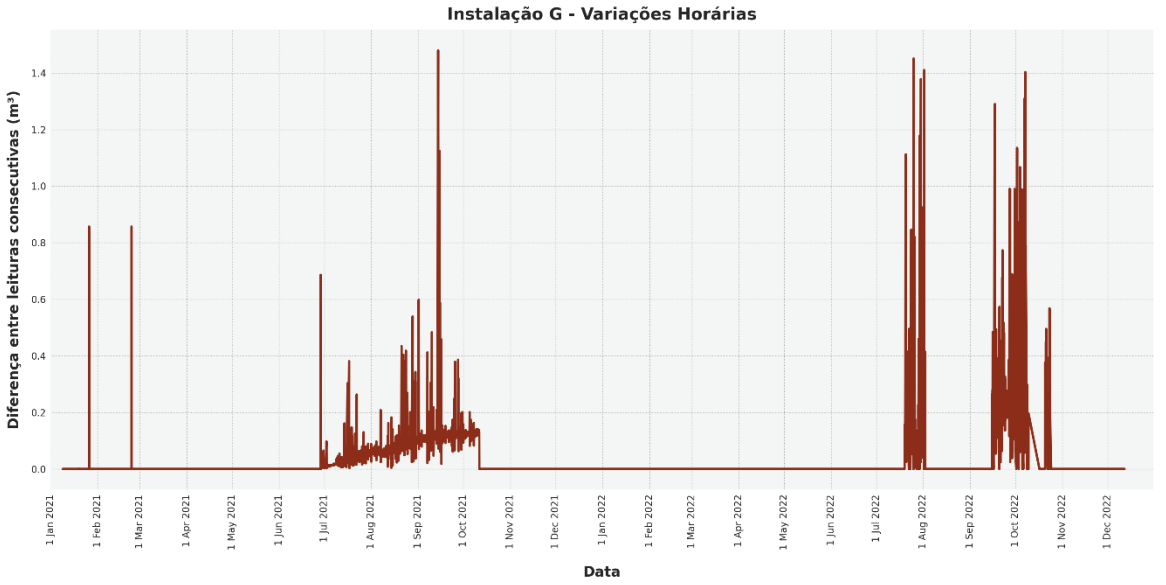


Figura 42- Instalação com leitura horária, mas sem padrão de consumo registado.

Foi assim concluído que cada ciclo de rega dura, em média 4 horas e 44 minutos com interrupções sendo que, em média, consome água durante 3 horas e 15 minutos.

O facto de a necessidade de utilização de água estar condensada num período muito curto dificultaria o dimensionamento da rede dada a necessidade de produção e adução de

elevadas quantidades de água num curto intervalo. No entanto, em conversações com a Divisão Municipal de Estrutura Verde da Câmara Municipal do Porto, verificou-se abertura para o ajuste dos períodos de rega para intervalos alargados superiores a 12 horas e assim promover o sucesso da rede de adução, através da utilização de pequenos reservatórios.

4.4 Situação atual, proposta de tratamento e envolvente da ETAR do Freixo

De forma a possibilitar a reutilização das águas residuais para irrigação e usos urbanos é necessário melhorar a qualidade do efluente final garantindo condições de saúde pública. Assim, ao longo deste capítulo, será analisada a qualidade do efluente obtido após o tratamento comum realizado na ETAR do Freixo, será estudada a necessidade da sua melhoria, o projeto implementado para o efeito de modo a atingir a qualidade exigida pela legislação e ainda a análise da qualidade do efluente obtido após a implementação do projeto pilo de tratamento complementar.

Posteriormente, será ainda estudada a rede de abastecimento responsável por conduzir a água desde a ETAR até aos pontos de entrega, bem como as suas implicações económicas. Com base nestes dados será calculada a tarifa que melhor se adapta a esta origem alternativa de água.

Excluem-se desta dissertação os passos legais necessários à implementação do projeto, como por exemplo, protocolos com os utilizadores, estudo de viabilidade económico financeira, parecer da ERSAR sobre a tarifa e licenciamento da APA.

4.4.1 Dados históricos do efluente

De modo a estudar a qualidade do efluente à saída da ETAR do Freixo, foram analisados dados referentes ao período compreendido entre janeiro de 2021 e outubro de 2022.

Foram encontrados valores de referência de modo a conferir a qualidade dos indicadores em relação às exigências da norma. Tendo como objetivo melhor a qualidade do efluente para classe A segundo os padrões exigidos pelo Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto.

Assim, e analisando a Tabela 13 compreende-se que os parâmetros que necessitavam de intervenção são a concentração de Sólidos em Suspensão Totais (SST) e o referente à presença da bactéria Escherichia coli (E.coli).

Tabela 13- Comparação entre a qualidade de água exigida pela legislação vigente e qualidade à saída da ETAR do Freixo sem tratamento complementar

	Parâmetros						
	CBO_5 (mg/L O_2)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	E. coli (ufc/100 mL)	Azoto amoniacal (mg NH_4^+/L) [1]	Azoto total (mg N/L) [1]	Fósforo total (mg P/L) [1]
Exigências Classe A Legislação Portuguesa	≤ 10	≤ 10	≤ 5	≤ 10	10	15	5
Valores de referência de qualidade entre janeiro de 2021 e outubro de 2022 na ETAR do Freixo	4,7	10,8	-	39 000	2,8	16,5	5,8

[1] Parâmetro facultativo. Poderá ser aplicável em alguns projetos de rega para minimização dos riscos de formação de biofilme e obstrução dos sistemas de rega

Com base nas classes de qualidade definidas na legislação compreende-se que os valores E. coli excedem o mínimo permitido pela legislação vigente de 10 000 unidades formadoras de colónias (ufc) por cada 100 mL, não apresentando por isso qualidade suficiente para ser utilizada como Água para Reutilização (ApR) sem afinação do processo de tratamento.

4.4.2 Projeto piloto de tratamento aplicado na ETAR

De forma a assegurar a qualidade exigida pela legislação referente à classe A foi aplicado um tratamento complementar que atua, essencialmente, nos indicadores com valores que não se incluem nos padrões da norma. Com o objetivo de implementar um tratamento complementar à água residual tratada na ETAR do Freixo de modo a melhorar a sua qualidade, foi aplicada uma unidade de tratamento modular de Reator Biológico de Membranas, em inglês *Membrane BioReactor* (MBR).

4.4.2.1 Montagem do tratamento MBR

Este sistema caracteriza-se pela utilização de membranas com uma gama de porosidade de ultrafiltração no processo de separação da lama biológica do efluente tratado. Este tratamento complementar apresenta várias vantagens, sendo que permite a operação do reator biológico com concentração de biomassa mais elevada, o efluente resultante

apresenta uma qualidade superior à resultante da decantação secundária sendo mais eficaz na eliminação dos Sólidos em Suspensão resultando num permeado com classificação de classe A, de acordo com a legislação vigente para a produção de ApR. Este permeado pode ainda ser encaminhado diretamente para uma unidade de Osmose Inversa, sem necessidade de tratamentos intermédios, permitindo assim a produção de água com qualidade potável.

Um sistema de MBR pode ser implementado numa perspetiva de montagem submersa ou externa conforme ilustra a Figura 43.

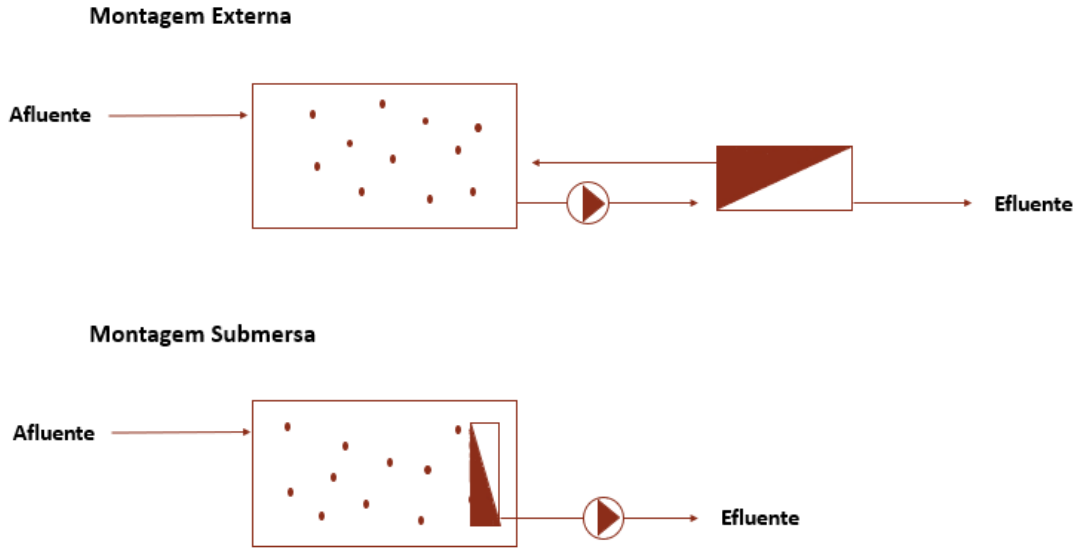


Figura 43- Representação esquemática das diferentes configurações de montagem.

4.4.2.1.1 Montagem submersa

No caso da montagem submersa, a forma de montagem aplicada na ETAR no Freixo, as membranas são montadas num compartimento de filtração e o licor misto é recirculado entre o reator biológico e o compartimento de membranas.

Esta é a opção mais amplamente aplicada, uma vez que as otimizações tecnológicas têm permitido a simplificação do sistema de limpeza das membranas e, quando em comparação com outros sistemas de MBR, o custo de investimento é reduzido. Apresenta ainda uma elevada eficiência energética sendo que tem um consumo específico na gama dos 0,2 - 0,5 kWh/m^3.

4.4.2.1.2 Montagem externa

Membranas *Cross flow*:

Os módulos das membranas são montados externamente e o licor misto é recirculado a elevada velocidade e pressão. Após o tratamento o efluente tratado é permeado através da membrana e a lama retorna ao reator biológico. Este sistema apresenta um elevado consumo energético devido à elevada velocidade e pressão que necessita, sendo apenas utilizado em casos muito específicos como por exemplo para afluentes com elevada condutividade como lixiviados de aterro.

Nestas situações o consumo energético específico apresenta uma variação entre 3 e 6 kWh/m^3.

Membranas *Airlift*:

Este é também um sistema no qual o módulo de membranas é montado externamente, havendo uma bomba que promove a recirculação do licor misto do reator biológico pelos módulos de membranas enquanto um compressor injeta ar pelo fundo do módulo de membranas.

Esta é uma tecnologia mais complexa do que a que está associada às membranas com montagem submersa e implica ainda a existência de um edifício técnico com dimensões significativas.

Apesar dos valores referentes ao consumo de energia serem mais apelativos, são ainda superiores aos da montagem submersa, variando, neste caso, entre os 0,5 e 1 kWh/m^3.

Membranas submersas:

Esta tecnologia de membranas submersas configura um conjunto de vantagens com especial interesse no caso da ETAR do Freixo. A estrutura é robusta, apresenta um ciclo de filtração otimizado e uma elevada eficiência de fluxo e permeabilidade. As membranas utilizadas são feitas de um material (*Poli vinil idene fluoride*) que promove a estabilidade química. A sua estrutura densa (poros com dimensão de 0,08 µm) promove uma maior retenção de moléculas orgânicas nas membranas.

A operação deste equipamento inclui as etapas que serão descritas seguidamente.

- Ciclo de filtração (3 fases):

- Filtração: A bomba de permeado cria uma diferença de pressão provocando o fluxo de água através da membrana enquanto a lama biológica e moléculas de maiores dimensões ficam retidas. O permeado aqui produzido é transferido para o tanque de permeado e nesta transição é introduzido ar que cria um fluxo turbulento junto à superfície da membrana de forma a evitar incrustações;
- Relaxamento: Fase na qual as bombas param a sua atividade ficando apenas o arejamento ativo;
- Retrolavagem: Nesta fase do processo é ativada a bomba de retrolavagem que introduz permeado na direção oposta através das membranas. O caudal que circula no sentido inverso "empurra" materiais depositados na membrana. A introdução de ar mantém-se durante a contra lavagem amplificando este efeito de *backwashing* devido ao fluxo turbulento.

- Lavagem química:

Esta etapa permite a lavagem completa de resíduos que se agregam às membranas de forma mais resistente não tendo sido removidos no ciclo de filtração.

Nesta fase as bombas de retrolavagem transferem uma solução de limpeza para as membranas durante um determinado período de modo a permitir a interação dos químicos com as incrustações. São aplicados químicos de limpeza com diferentes propósitos, sendo que para a instalação na ETAR do Freixo estão a ser utilizados os seguintes reagentes:

- Ácido cítrico (para remoção de incrustação de base mineral);
- Hipoclorito de sódio (para remoção de incrustações de base orgânica);
- Ácido fórmico; (para ajuste de pH e promoção da dissolução de minerais na água);
- Reagente: anti-espuma.

4.4.2.2 Implementação na ETAR do Freixo

Na ETAR do Freixo este piloto entrou em funcionamento em dezembro de 2022.

NA ETAR existem 8 decantadores secundários, a água que é tratada neste processo provem do segundo decantador sendo encaminhada, através de condutas, para a infraestrutura onde este tratamento decorre. O tratamento inicia-se por um processo de tamisação de modo a otimizar este projeto, no qual são removidos sólidos, para um contentor de

resíduos, que têm passado no processo até ao momento. Os operacionais verificam o tamisador duas vezes por dia de forma a efetuarem a sua limpeza evitando a obstrução do mesmo. A Figura 44 ilustra a execução deste processo por parte de um operador.



Figura 44- Operacional a realizar a limpeza do tamisador.

Posteriormente o efluente é encaminhado para um tanque no qual é injetado ar de forma a garantir a sua agitação. Neste são administrados o anti-espuma e os restantes reagentes. Junto ao tanque encontram-se os oito sistemas de purga que têm como objetivo eliminar o ar em excesso no sistema de modo a evitar, por exemplo, fenómenos de corrosão. As membranas não são visíveis uma vez que a sua montagem é submersa.

Nas Figura 45Figura 46 são visíveis, respetivamente, o sistema de membranas e o tanque de água para tratamento que se verifica arejado e com uma pequena quantidade de espuma devido à adição do reagente.



Figura 45- Sistema de membranas da instalação.



Figura 46- Sistema de membranas e tanque de água para tratamento

Por último, a água tratada é bombada, através de outras condutas para tanques de armazenamento e os sólidos que resultam do tratamento para a entrada do quarto

decantador secundário do processo comum aplicado na ETAR. Estes sólidos não causam qualquer desequilíbrio no processo uma vez que a quantidade não é significativa quando em comparação com o enorme volume de água tratada na ETAR do Freixo.

A Figura 47 apresenta os reservatórios onde a água tratada é armazenada sendo visível a possibilidade de ligação de camiões de abastecimento ou condutas à mesma. Os reservatórios são fabricados em polietileno de alta densidade e têm uma capacidade unitária de 13 500 litros (135 m^3).

Esta água é ainda utilizada no próprio sistema para a limpeza das membranas.



Figura 47- Reservatórios de armazenamento de água tratada.

Na Figura 48 é visível a infraestrutura localizada na ETAR do Freixo na qual ocorre o processo de tratamento complementar e a sua respetiva legenda.



1 – Tamisador;

2 - Conduta que transporta a água proveniente do 2º Decantador Secundário até ao tamisador;

3 - Contentor de deposição dos sólidos retirados por tamisação;

4 - Conduta que transporta a água do tamisador até ao tanque onde ocorre o tratamento;

5 - Tanque no qual ocorre o tratamento;

6 - Reservatórios de ácido cítrico e hipoclorito de sódio;

7 - Infraestrutura na qual se encontram mecanismos de controlo como ecrãs e medidores e também as bombas e restantes equipamentos.

Figura 48- Estrutura na qual é implementado o projeto piloto.

O ácido fórmico e anti-espuma estão localizados no interior da instalação, em reservatórios de menores dimensões.

Os valores relativos ao dimensionamento da instalação foram fornecidos pela empresa subcontratada responsável pela aplicação deste sistema na ETAR. Assim, são avançados os dados apresentados na Tabela 14.

Tabela 14- Valores de dimensionamento fornecidos pela empresa responsável

Número de módulos de membranas	24 organizadas em 8 torres (3 por torre)
Fluxo nominal	25 L/m^2.h
Capacidade nominal	24 m^3/h
Fluxo máximo	30 L/m^2.h
Capacidade máxima	40 m^3/h
Capacidade da bomba de permeado	40 m^3/h
Fluxo de backwash	100 L/m^2.h
Capacidade da bomba de backwash	30 m^3/h
Compressor	50 m^3/h por torre (total 40 m3/h)
Caudal recirculado	150 m^3/h

A unidade de MBR inclui os seguintes equipamentos:

- Compartimento de membranas:
    - 24 módulos de membranas organizadas em 8 torres (8x3);
    - Medição contínua de nível e interruptor de nível;
- Compartimento técnico:
    - Bomba de permeado com medição de caudal e pressão;
    - Bomba de *backwash* com medição de caudal e pressão;
    - Bomba de recirculação com medição de caudal;
    - Quadro elétrico, sistema de supervisão e aquisição de dados e sistema de automatização do processo;
    - Circuito de ar comprimido com válvulas pressurizadas;
    - Compressor com medição de pressão;
    - Sistemas de doseamento de ácido cítrico, hipoclorito de sódio;
    - Tanque de permeado de MBR equipado com:
        - Medição contínua de nível e dois interruptores de nível;
        - Bomba de transferência de permeado.
    - Tubagens e válvulas automáticas para todos os circuitos.

4.4.3 Qualidade da água resultante

De modo a atestar a segurança do efluente após o tratamento complementar, têm sido realizadas análises frequentes ao efluente desde a sua implementação. Os resultados médios são demonstrados na Tabela 15 sendo possível a comparação entre estes valores, os valores conseguidos na ETAR sem o tratamento complementar e a legislação vigente. Foi assim concluído que os parâmetros que se encontravam fora dos padrões atingiram valores desejados (exceto o azoto total que é um parâmetro facultativo) tendo o tratamento sido eficaz.

Tabela 15- Comparação entre valores da legislação e qualidade obtida na ETAR do Freixo antes e após tratamento complementar

	Parâmetros						
	CBO_5 (mg/L O_2)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	E. coli (ufc/100 mL)	Azoto amoniacal (mg NH_4^+/L) [1]	Azoto total (mg N/L) [1]	Fósforo total (mg P/L) [1]
Exigências Classe A Legislação Portuguesa	≤ 10	≤ 10	≤ 5	≤ 10	10	15	5
Valores de referência de qualidade entre janeiro de 2021 e outubro de 2022 na ETAR do Freixo	4,7	10,8	-	39 000	2,8	16,5	5,8
Resultados médios de qualidade obtidos após implementação de MBR na ETAR do Freixo	4,2	1,1	-	1	0,1	20,3	3,7

[1] Parâmetro facultativo. Poderá ser aplicável em alguns projetos de rega para minimização dos riscos de formação de biofilme e obstrução dos sistemas de rega

No final da aplicação deste tratamento é esperada uma água de elevada qualidade conforme demonstram as análises efetuadas. A Figura 49 ilustra uma amostra de água recolhida após o tratamento complementar apresentando-se límpida e translúcida.

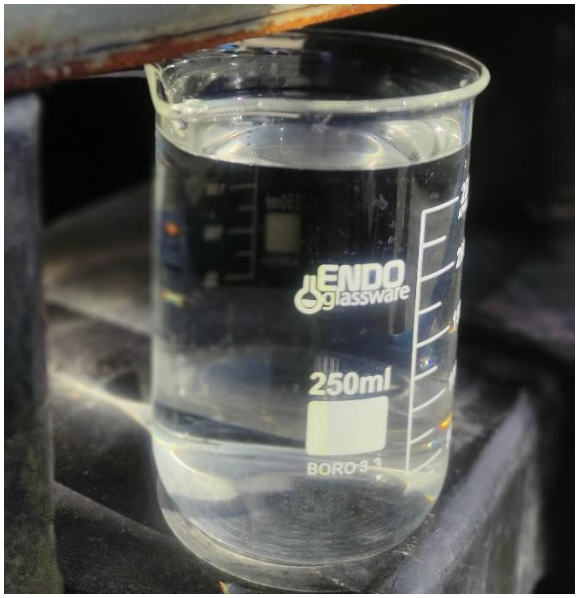


Figura 49- Amostra de efluente resultante do tratamento complementar aplicado na ETAR do Freixo.

4.4.4 Planeamento de condutas adutoras e rede de abastecimento com ApR proveniente da ETAR do Freixo

A tarefa de projetar a rede é dependente de diversas variáveis revelando-se bastante desafiante. Ao longo dos meses de trabalho foram realizadas várias reuniões com diferentes entidades de modo a compreender, efetivamente, as necessidades do município, encontrar as melhores formas de abastecimento e o traçado de adução que melhor se adequa e que garanta a viabilidade económica do projeto.

Podem ser utilizadas várias abordagens no planeamento da rede. No desenvolvimento do projeto, foram analisadas várias soluções. Assim, seguem-se as opções de rede de adução consideradas, tendo as primeiras sido descartadas e sendo a terceira a que se encontra em análise no momento de conclusão desta dissertação.

Uma das premissas do projeto é a possibilidade de expansão da rede no futuro de modo a potenciar uma maior reutilização de águas residuais tratadas.

Traçado 1

Numa fase inicial analisou-se a possibilidade de instalar a conduta adutora de forma a servir os clientes com maiores consumos. Analisando a Figura 50, que aponta apenas os consumidores com médias mensais superiores a 25 m^3 é possível traçar uma linha que liga estes pontos servindo ainda outros pontos ao longo do trajeto, podendo por isso ser um caminho a seguir.

No entanto, compreendeu-se que o abastecimento seria dificultado pelas características orográficas da zona sendo necessária a construção de reservatórios de grandes dimensões pelo que seria necessário ter com conta o local de colocação dos reservatórios de modo a facilitar a posterior distribuição de ApR. Compreendeu-se ainda a necessidade de considerar caminhos de instalação das condutas facilitados de modo a diminuir o tempo e custo de instalação.

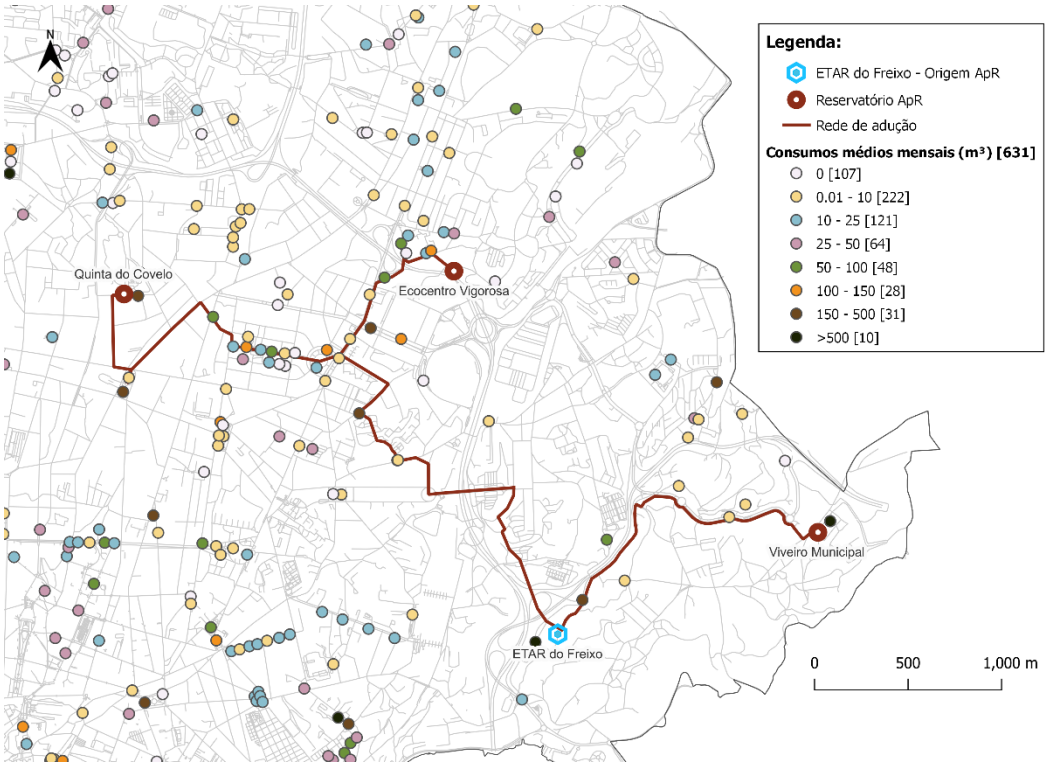


Figura 50- Primeira proposta de rede de adução.

Traçado 2

Abordou-se, posteriormente, a possibilidade apresentada na Figura 51. Esta foi a solução que serviu de base ao estudo do tarifário efetuado no subcapítulo seguinte. No entanto, em conversações com a entidade que gere os jardins e espaços verdes do município, compreendeu-se que esta não seria a solução que melhor servia as necessidades do município, sendo necessários alguns ajustes que foram aplicados na opção seguinte.

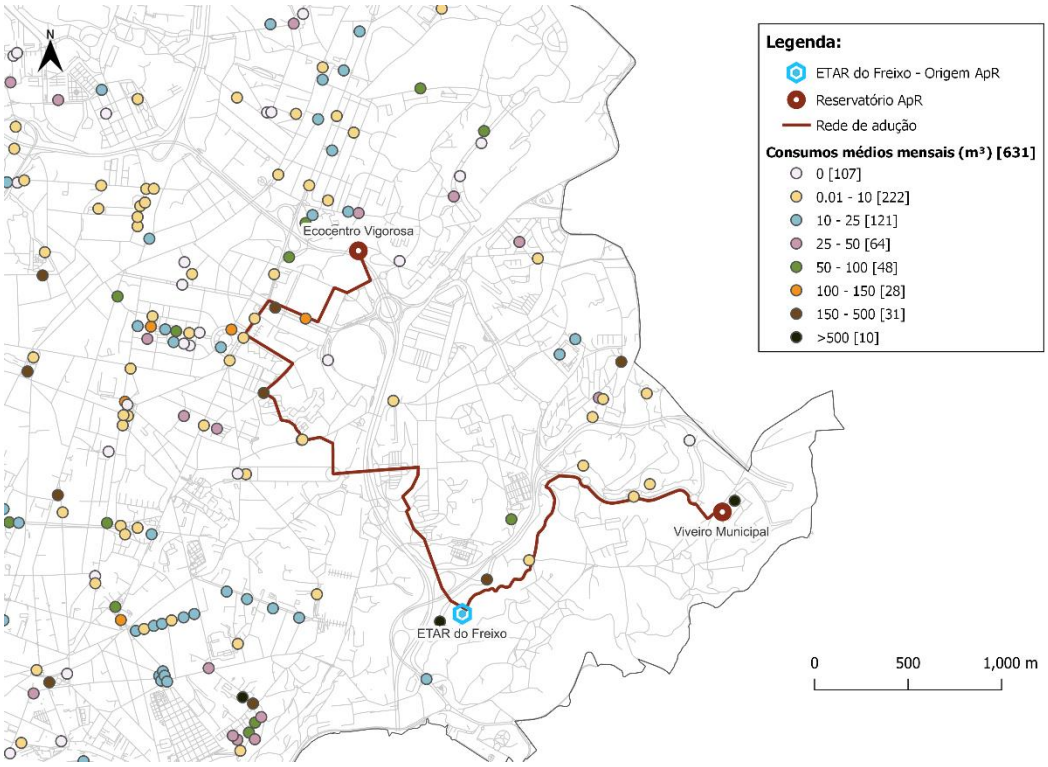


Figura 51- Segunda proposta de rede de adução.

Traçado 3

Por último, e salvaguardando que são as conclusões à data do final desta dissertação, prevê-se a divisão da rede de abastecimento com ApR em três linhas. Todas terão início na ETAR do Freixo e servirão diferentes zonas na sua imediação conforme apresentado na Figura 52 O braço nascente do sistema adutor foi pensado com o objetivo de abastecer o Viveiro Municipal. Nestas instalações verifica-se um elevado consumo de água, inclusivamente de água proveniente de captações por furos, estando em estudo a possibilidade da ApR substituir este consumo de modo a aumentar a praticidade do funcionamento das instalações.

O Viveiro Municipal apresenta ainda outras vantagens como a já instalada rede de abastecimento completamente separada que permitirá o abastecimento em segurança evitando a contaminação da água de abastecimento com ApR e a existência de um reservatório de água para irrigação. O reservatório poderá ser agora utilizado para armazenamento de ApR sendo possível sofrer algumas adaptações, nomeadamente o seu ajuste dimensional, impermeabilização e cobertura de modo a evitar a contaminação por partículas presentes no ar.

Esta linha adutora poderá servir outros pontos ao longo do trajeto até ao Viveiro Municipal, nomeadamente o Parque Oriental e outros espaços verdes previstos para a zona, nomeadamente um parque com uma área de cerca de sete hectares.

O braço poente destina-se ao ecocentro do Vigorosa de modo a abastecer o norte da zona oriental do município. Este trajeto servirá vários clientes, no entanto terá a necessidade de construção de um reservatório com uma capacidade de armazenamento considerável, pelo que deverá ser estudado o local de colocação do mesmo. O reservatório deverá ser colocado num ponto alto de modo a efetuar o abastecimento de forma gravítica e assim evitar a necessidade de bombagem até aos pontos de consumo. Dada a considerável área do ecocentro, prevê-se que colocação do reservatório seja simplificada. Este ponto servirá, em conjunto com a ETAR do Freixo, como zona de enchimento de camiões-cisterna para usos como rega e limpeza.

O terceiro braço adutor entre a ETAR do Freixo e as instalações da empresa Águas e Energia do Porto, E.M, na Rua do Barão de Nova Sintra. Para além de servir vários pontos ao longo do trajeto, a sede da empresa apresenta consumos elevados devido a utilizações como rega e enchimento de camiões. Assim, e aliando esta necessidade ao facto de estarem disponíveis dois reservatórios de água (12 500 m^3 cada célula) inutilizados de momento, esta poderá ser uma boa opção evitando o investimento num reservatório criado de raiz. No entanto, nesta fase do projeto, importa ainda estudar se os consumos na zona e o potencial de crescimento compensará o investimento desta rede.

Sabendo que este projeto, na sua forma atual, servirá apenas uma pequena parte da cidade na zona oriental, deverá ser idealizado de forma detalhada de modo a garantir a possibilidade de expansão da rede.

Pretende-se ainda que a rede adutora (que permite o abastecimento entre a ETAR e os reservatórios) tenha também a função de distribuição, isto é, que ao longo do percurso de adução ao reservatório seja possível servir instalações e a jusante do reservatório seja dimensionada uma rede de abastecimento.

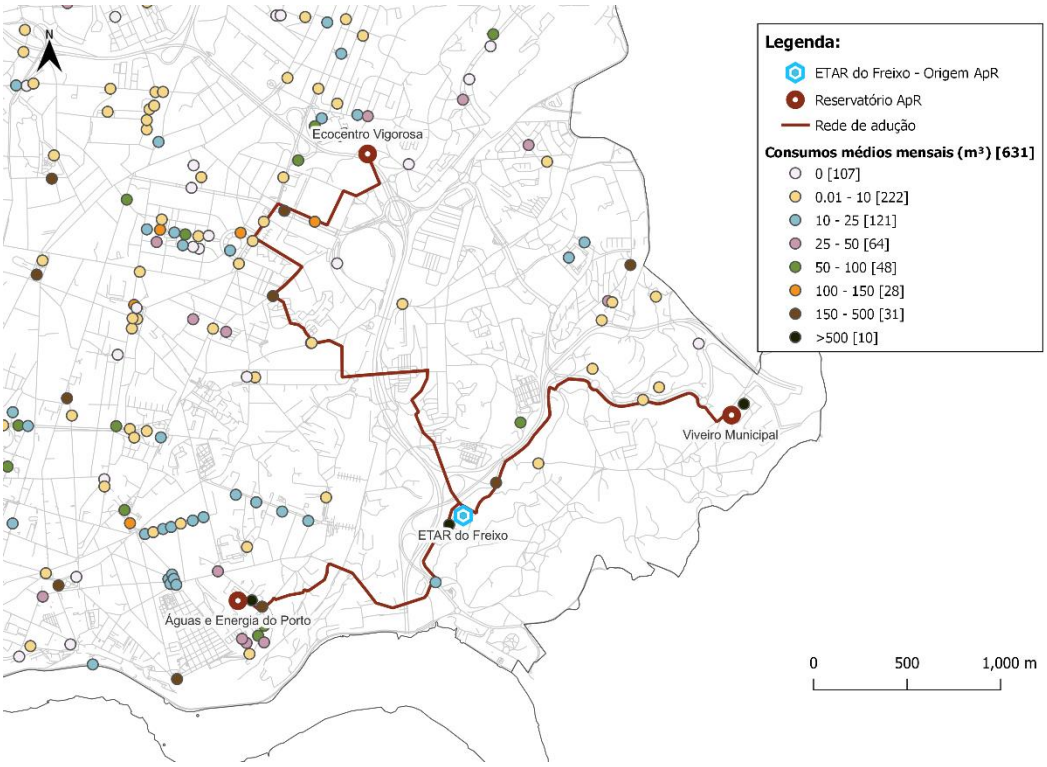


Figura 52- Terceira proposta de rede de adução.

Na planificação deste projeto é necessário ter vários pontos em consideração, nomeadamente no que concerne à manutenção da qualidade do efluente.

Uma vez que haverá a necessidade de armazenar o efluente em reservatórios, é essencial estudar o efeito que este período terá na qualidade do efluente, nomeadamente no tempo de recrescimento de alguns microrganismos como a E. coli.

Neste sentido, de forma a encontrar o tempo máximo durante o qual a água poderá estar armazena sem acrescer risco para a saúde pública, considerou-se os resultados obtidos no *Laboratory of Separation and Reaction Engineering and Laboratory of Catalysis and Materials* (LSRE-LCM) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) no âmbito da dissertação de doutoramento do estudante Fernando Rodrigues da Silva sob a orientação do investigador Principal, o Professor Vítor Vilar.

O caso de estudo é referente a um efluente de ETAR num concelho próximo ao Porto na qual é realizado um tratamento de nanofiltração e desinfeção por cloro. Verificou-se, resumidamente, que após o tratamento o valor de E. coli não foi encontrado nenhum valor superior ao limite de deteção (LOD) (<0,33 ufc/100 mL). Foram testadas duas concentrações de cloro (NaClO), 1 e 3 mg/L, concluindo que a desinfeção com apenas 1 mg/L foi suficiente para garantir o não recrescimento de E. coli após 72 horas de

armazenamento, garantindo assim que para este período é seguro manter o efluente tratado armazenado no que concerne ao parâmetro de que avalia a presença desta bactéria.

Deve considerar-se que estes dados poderão não se aplicar ao caso da ETAR do Freixo uma vez que o efluente não apresenta as mesmas características, as condições de reserva podem diferir e, principalmente, o facto do tratamento complementar atualmente aplicado nesta instalação não sofrer desinfeção por cloro. Assim, apesar destes valores servirem como referência, devem ser estudados para o contexto concreto do caso de estudo do município do Porto.

4.4.5 Custos associados à rede de adução

Relativamente a este projeto, importa perceber o custo económico envolvido, estes valores serão fundamentais, nomeadamente, para o estabelecimento da tarifa a aplicar aos clientes.

Nesta etapa é apresentado um orçamento para a rede adutora referente ao segundo traçado que engloba os braços adutores para o Viveiro Municipal e para o Ecocentro do Vigorosa.

Este orçamento foi elaborado por uma entidade projetista externa à empresa contratada para o efeito. Ressalva-se o facto de ter sido realizado numa fase do projeto que não é a final pelo que poderá não refletir a realidade implementada mais tarde. No entanto, é apresentado de modo a estabelecer um valor para o investimento neste âmbito, sabendo-se assim que apesar de estar sujeito a alterações esta será, aproximadamente, a sua ordem de grandeza.

Considerando o traçado anteriormente referido na opção 2, encontram-se dois ramos, o que liga a ETAR do Freixo à rua do Vigorosa e o ramo até ao Viveiro Municipal.

De modo a possibilitar a estimativa orçamental desta rede dividida em dois ramos foi necessário considerar alguns pressupostos iniciais indicados de seguida:

- Considerando o caudal proveniente da ETAR do Freixo que deve ser reutilizado até 2030, apresentado na Tabela 11, é percetível que o objetivo será uma reutilização de, aproximadamente, 4 000 m^3 por dia, tendo sido este o caudal utilizado para o dimensionamento. No entanto foi importante considerar também a possibilidade

de a rede ser aplicada, inicialmente, para 1 000 m^3 diários, sendo essa a capacidade de produção atual. Para esse efeito os custos associados às condutas e estações elevatórias mantiveram-se, dado que não faria sentido repetir essas obras de construção civil. Por outro lado, no caso dos reservatórios de água, podem ser adicionadas novas células de armazenamento em função da necessidade, pelo que foi considerada um quarto da capacidade de armazenamento da necessária para 4 000 m^3/dia e, consequentemente, um quarto dos custos associados;

- A tarifa será calculada no subcapítulo seguinte considerando a possibilidade inicial de produzir, inicialmente 1 000 m^3/dia (capacidade atual do sistema de tratamento piloto) e os 4 000 m^3/dia (objetivo para 2030);
- Tendo em conta o maior potencial de crescimento do ramo do Vigorosa e a abrangência de uma maior quantidade de instalações nesta zona, considerou-se uma distribuição de **90 %** do efluente para o ramo do Vigorosa e **10 %** para o ramo do Viveiro Municipal;
- Dada a possibilidade de ajuste dos ciclos de rega diminuindo assim a pressão sobre a rede, planeou-se a **adução a 20 horas** e a **distribuição a 12 horas**;
- O orçamento foi efetuado para duas possibilidades de distribuição - de forma gravítica através de um reservatório colocado no final de cada ramo de adução, ou por garantia de pressão na rede (através de bombagem). Numa perspetiva de poupança energética e tendo em conta a possibilidade de colocação de reservatórios nos vários pontos, foi analisada a proposta referente à colocação de reservatório;
- Consideraram-se ainda vários diâmetros de condutas conforme é apresentado nas estimativas seguintes.

4.4.5.1 Dimensionamento para produção diária de 4 000 m^3

- **Ramo Viveiro Municipal:**
    - Volume elevado diariamente → 400 m^3;
    - Caudal da bomba → 20 m^3/h;
    - Número de bombas → 1+1 (reserva);
    - Reservatório → 160 m^3.

A Tabela 16 apresenta os valores de investimento destinados à adução do ramo do Viveiro Municipal para uma produção de 4 000 m^3/dia.

Tabela 16- Estimativa de investimento ramo Viveiro Municipal para uma produção de 4 000 m^3/dia

Conduta Elevatória	Extensão (m)	Custo da conduta adutora (€)	Custo da estação Elevatória (€) [1]	Custo do Reservatório de 160 m^3 (€) [1]	Total (€)
PEAD - DN 110	2 195	93 390	171 985	105 000	370 375
PEAD - DN 215		102 429	152 556		359 985
PEAD - DN 140		112 325	142 025		359 350

[1] Considerando a necessidade de construção de novas infraestruturas

- **Ramo Vigorosa:**
  - Volume elevado diariamente → 3 600 m^3;
  - Caudal da bomba → 90 m^3/h;
  - Número de bombas → 2+1 (reserva);
  - Reservatório → 1 450 m^3.

Por outro lado, a Tabela 17 apresenta os valores de investimento destinados ao ramo do Vigorosa para uma produção de 4 000 m^3/dia.

Tabela 17- Estimativa de investimento ramo Vigorosa para uma produção de 4 000 m^3/dia

Conduta Elevatória	Extensão (m)	Custo da conduta adutora (€)	Custo da estação Elevatória (€)	Custo do Reservatório de 2 000 m^3 (€) [1]	Total (€)
DN300 FFD/ DN315 PEAD	3 010	600 000	340 000	380 000	1 320 000
DN300 FFD/ DN250 PEAD		548 000	345 000		1 273 000
DN250 FFD/ DN315 PEAD		546 000	342 000		1 268 000
DN250 FFD/ DN250 PEAD		494 000	352 000		1 226 000

[1] Considerando a necessidade de construção de novas infraestruturas

Assim, somando os valores anteriores, previu-se um custo de investimento na rede adutora de cerca de 1 700 000 €.

4.4.5.2 Dimensionamento para produção diária de 1 000 m³

- **Ramo Viveiro Municipal:**
  - Volume elevado diariamente → 100 m³;
  - Caudal da bomba → 5 m³/h;
  - Número de bombas → 1+1 (reserva);
  - Reservatório → 40 m³ (160/4).

Na Tabela 18 são visíveis os valores de investimento destinados ao ramo do Viveiro Municipal para uma produção de 1 000 m³/dia.

Tabela 18- Estimativa de investimento ramo Viveiro Municipal para uma produção de 1 000 m³/dia

Conduta Elevatória	Extensão (m)	Custo da conduta adutora (€)	Custo da estação Elevatória (€)	Custo do Reservatório de 40 m³ (€) [1]	Total (€)
PEAD - DN 110	2 195	93 390	171 985	26 250	291 625
PEAD - DN 215		102 429	152 556		281 235
PEAD - DN 140		112 325	142 025		280 600

[1] Considerando a necessidade de construção de novas infraestruturas

- **Ramo Vigorosa:**
  - Volume elevado diariamente → 3 600 m³;
  - Caudal da bomba → 22,5 m³/h;
  - Número de bombas → 2+1 (reserva);
  - Reservatório → 362,5 m³ (1 450/4).
  -

De igual modo, a Tabela 19 refere-se aos custos de investimento para a rede adutora do ramo do Vigorosa com uma produção diária de 1 000 m³/dia.

Tabela 19- Estimativa de investimento ramo Vigorosa para uma produção de 1 000 m³/dia

Conduta Elevatória	Extensão (m)	Custo da conduta adutora (€)	Custo da estação Elevatória (€)	Custo do Reservatório de 362,5 m³ (€) [1]	Total (€)
DN300 FFD/ DN315 PEAD	3 010	600 000	340 000	95 000	1 035 000
DN300 FFD/ DN250 PEAD		548 000	345 000		988 000
DN250 FFD/ DN315 PEAD		546 000	342 000		983 000
DN250 FFD/ DN250 PEAD		494 000	352 000		941 000

[1] Considerando a necessidade de construção de novas infraestruturas

Este dimensionamento resultou numa estimativa de investimento de, considerando os valores médios, 1 300 000 €.

4.4.5.3 Considerações

Conforme referido anteriormente, este orçamento foi realizado numa etapa intermédia do projeto, tendo já alguns valores que não se adequam aos objetivos finais.

Assim, considera-se que vários pontos deverão sofrer alterações na realização do próximo orçamento, sendo alguns enumerados de seguida:

- Distribuição percentual do caudal de ApR não deverá ser de 90 % para o ecocentro do Vigorosa e 10 % para o Viveiro Municipal, mas sim seguir uma distribuição de cerca de 20 % para a ETAR do Freixo (consumo próprio e abastecimento de camiões), 30 % para o ramo do Viveiro Municipal e 50 % para o ramo do Ecocentro do Vigorosa. Nesta distribuição pode ainda existir a necessidade de considerar um ramo destinado às Águas e Energia do Porto, E.M., caso este se verifique uma mais-valia para o projeto.
- Este orçamento considera a construção de reservatórios, no entanto, em visitas técnicas e contactos com as entidades competentes, verificou-se que em vários casos este custo pode ser reduzido. No Viveiro Municipal já existe um reservatório que poderá sofrer apenas algumas alterações como impermeabilização e colocação de cobertura. No caso dos pontos não incluídos neste orçamento, mas que poderão também servir para reserva de água (ETAR do Freixo e Águas e Energia do Porto, E.M.) existem estruturas que poderão ser adaptadas para este efeito, um espessador de lamas no caso da ETAR e um reservatório inutilizado na sede da empresa. Apenas no ecocentro se verifica a necessidade de construção de reservatório;

4.4.6 Tarifa a aplicar

A definição da tarifa a aplicar em função do custo desta origem de água é um ponto de análise essencial, este irá permitir prever o sucesso da ApR na sua aceitação por parte dos clientes, uma vez que uma das principais vantagens desta origem de água é o seu custo reduzido em relação à água de abastecimento.

Mais uma vez importa deixar nota que os cálculos seguidamente apresentados não refletem, necessariamente, o valor final da tarifa, sendo apenas um esboço de cálculo que permite chegar a valores de referência.

Importa fazer desde já algumas considerações:

- O caudal máximo tratado pelo equipamento de MBR é de, atualmente, 1 000 m^3/dia;
- O custo energético aplicado a um cliente com grandes consumos não se enquadra na mesma tarifa que um cliente doméstico habitual. Tendo em conta o tarifário em média tensão existente na ETAR do Freixo, o valor médio de energia é 0,11 €/kWh. Tendo em conta o panorama económico atual, considerou-se um aumento de 40 % deste valor resultando em 0,154 €/kWh;
- No âmbito do cálculo desta tarifa foram considerados dois cenários em relação à quantidade de água produzida. O primeiro cenário, o atual, com uma produção de 1 000 m^3 diários, e o que corresponde ao objetivo diário para o ano de 2030 de 4 000 m^3;
- Foram ainda consideradas duas metas temporais. O ano zero que se refere ao ano de implementação do projeto e, por outro lado, o ano horizonte que é referente ao ano cujo caudal de ponta fornecido corresponderá ao objetivo de produção diário. O ano horizonte foi calculado para ambos os cenários de produção (1 000 m^3/dia e 4 000 m^3/dia), no entanto o ano zero foi apenas considerado para a menor produção uma vez que tendo em consideração o reduzido consumo atual não faria sentido produzir e dimensionar um sistema para 4 000 m^3/dia numa fase inicial;
- Dada a incerteza em relação a um possível financiamento, realizaram-se os cálculos considerando vários cenários: investimento total amortizado, investimento total a fundo perdido, produção de ApR a fundo perdido e sistema adutor a fundo perdido;

- Será ainda considerado o consumo de ApR durante todo o ano e apenas nos meses em que, segundo os padrões analisados e as informações recolhidas juntos da Divisão Municipal de Estrutura Verde da Câmara Municipal do Porto, há um maior consumo (sete meses por ano), sendo feitos ajustes à quantidade consumida por mês com base em dados de consumo registados anteriormente.

4.4.6.1 Produção diária de 1 000 metros cúbicos (atualmente)

A Tabela 20 apresentada de seguida é referente aos vários investimentos estruturais necessários à implementação deste projeto na ETAR do Freixo. Os dados relativos ao tempo de vida útil das infraestruturas e a percentagem de manutenção necessária ao longo do ano foram retirados de bibliografia existente disponibilizada pela empresa Águas e Energia do Porto, E.M. no âmbito da execução destes cálculos.

Tabela 20- Dados de cálculo referentes ao investimento para implementação e adução de ApR na ETAR do Freixo para produção de 1 000 m³/dia

Infraestruturas	Custo (€)	Tempo de vida útil (anos)	Amortização anual (€)	% Manutenção	Custo manutenção (€/ano)
Piloto MBR	750 000	20	37 500	0,50	3 750
Interligação na ETAR	41 800	20	2 090	0,25	104,5
Depósitos na ETAR	19 800	20	990	0,25	49,5
Sistema Adutor	1 300 000	50	26 000	0,25	3 250
Total	2 111 600	-	66 580	-	7 154

A Tabela 21 retrata o valor que se destina ao tratamento de MBR na ETAR do Freixo, estando aqui incluídos os valores referentes ao consumo energético e aos reagentes utilizados ao longo do processo. Tendo em conta os valores de mercado, o custo médio dos reagentes é de 0,45 €/m³.

Tabela 21- Dados de cálculo referentes ao custo do tratamento com MBR na ETAR do Freixo para produção de 1 000 m³/dia

Consumíveis	Quantidade	Custo (€/m³)	Produção total (m³/dia)	Custo total (€/dia)
Energia	0,2-0,5 kWh/m³	0,0539	1 000	53,90
Reagentes	0,035-0,05 L/m³	0,019	1 000	19,13
Total	-	-	-	73,03

A Tabela 22 descreve os custos energéticos associados à adução considerando uma distribuição de 20 % do caudal para ETAR do Freixo (uso interno e abastecimento de

camiões), 30 % para o ramo do Ecocentro do Vigorosa e 50 % para o ramo do Viveiro Municipal.

A potência necessária para calcular o custo energético associado à adução de cada zona foi conseguido através do cálculo demonstrado na equação seguinte cujos resultados foram multiplicados pelo custo energético (kWh):

$$P = \frac{\Upsilon \times Q \times H_{man}}{\eta} \qquad \text{(equação 4)}$$

Sendo:

- Υ - o peso específico da água (9,81 kN/m^3);
- Q – Caudal (m^3/s) aqui considerado 1 para num passo seguinte multiplicar pela produção;
- H_{man} – Altura manométrica (m);
- η - Rendimento da bomba (considerado 60 %);

Tabela 22- Custos energéticos de adução diária de 1 000 m^3

Locais	Adução (%)	Altura manométrica (m)	Potência (€/m^3)	Produção (m^3/dia)	Custo (€/dia)
ETAR do Freixo	20	0	0,000	200	0,00
Ecocentro Vigorosa	30	80	0,056	300	16,79
Viveiro Municipal	50	160	0,112	500	55,95
Total	100	-	-	1 000	72,74

Os dados até aqui apresentados referem-se ao ano zero e ano horizonte para este caudal de produção. A partir do próximo subcapítulo serão apresentados os cálculos e valores referentes, exclusivamente, ao ano zero.

4.4.6.1.1 Ano zero

- **Custo total**

A Tabela 23 relaciona todos estes valores permitindo calcular o valor da tarifa.

Tabela 23- Total de custos para cálculo final da tarifa para uma produção de 1 000 m³ consumidos ao longo de todo o ano zero

Mês	Caudal médio (m³/dia)	Caudal médio (m³/mês)	% de uso em função da produção	Custo mensal de produção (€)	Custo de bombagem (€)	Custo de manutenção (€)	Amortização anual (€)	Total Custos (€)	Tarifa (€/m³)
janeiro	133	3 990	13	2 191	290				
fevereiro	167	5 010	17	2 191	364				
março	233	6 990	23	2 191	508				
abril	233	6 990	23	2 191	508				
maio	300	9 000	30	2 191	655				
junho	400	12 000	40	2 191	873				
julho	433	12 990	43	2 191	945	7 154	66 580	107 297	**1,07**
agosto	433	12 990	43	2 191	945				
setembro	367	11 010	37	2 191	801				
outubro	300	9 000	30	2 191	655				
novembro	200	6 000	20	2 191	436				
dezembro	133	3 990	13	2 191	290				
Total	-	99 960	-	26 292	7 271				

Considerou-se a possibilidade de a água para reutilização ser utilizada apenas durante os meses de maior consumo, compreendidos entre os meses de abril e outubro, os meses em que se verifica menor pluviosidade e, consequentemente, maior necessidade de rega. Assim, na Tabela 24 são apresentados dados que permitem chegar ao valor da tarifa correspondente a este cenário.

Tabela 24- Total de custos para cálculo final da tarifa para uma produção de 1 000 m³ consumidos ao longo de sete meses no ano zero

Mês	Caudal médio (m³/dia)	Caudal médio (m³/mês)	% de uso em função da produção	Custo mensal de produção (€)	Custo de bombagem (€)	Custo de manutenção (€)	Amortização anual (€)	Total Custos (€)	Tarifa (€/m³)
abril	233	6 990	23	2 191	508				
maio	300	9 000	30	2 191	655				
junho	400	12 000	40	2 191	873				
julho	433	12 990	43	2 191	945	7 154	66 580	94 452	**1,28**
agosto	433	12 990	43	2 191	945				
setembro	367	11 010	37	2 191	801				
outubro	300	9 000	30	2 191	655				
Total	-	73 980	-	15 337	5 381				

Nesta fase do projeto não está confirmada a possibilidade de financiamento de parte ou da totalidade do investimento. Assim, foram considerados vários cenários que serão apresentados de seguida.

À semelhança do que foi feito para o custo total, foram efetuados cálculos semelhantes de modo a compreender e comparar o impacte que possíveis financiamentos poderão causar no valor da tarifa. Assim, foram considerados para a produção de 1 000 m^3/dia e 4 000 m^3/dia, a possibilidade de considerar o custo da produção a fundo perdido, o custo da adução a fundo perdido e também para o custo total do valor do projeto.

De forma a não tornar a apresentação dos cálculos redundante, serão expostas apenas as tabelas que demonstram o impacte no valor da amortização sendo que os cálculos efetuados posteriormente foram realizados seguindo o raciocínio apresentado nas tabelas anteriores.

- **Produção a Fundo Perdido**

Neste caso, conforme demonstra a Tabela 25, o valor a amortizar foi apenas o do sistema adutor uma vez que o projeto piloto, a interligação e os depósitos são considerados parte integrante do processo de produção.

Tabela 25- Dados de cálculo referentes ao investimento para implementação e adução de ApR na ETAR do Freixo para produção de 1 000 m^3/dia com financiamento para o processo de tratamento no ano zero

Infraestruturas	Custo (€)	Tempo de vida útil (anos)	Amortização anual (€)	% Manutenção	Custo manutenção (€/ano)
Piloto MBR	750 000	20	0	0,50	3 750
Interligação na ETAR	41 800	20	0	0,25	104,5
Depósitos na ETAR	19 800	20	0	0,25	49,5
Sistema Adutor	1 300 000	50	26 000	0,25	3 250
Total	2 111 600	-	26 000	-	7 154

Conclui-se assim que a tarifa aplicada neste cenário considerando um consumo anual seria de 0,67 €/m^3 e, por outro lado, de 0,73 €/m^3 para um consumo de apenas sete meses.

- **Adução a Fundo Perdido**

Por outro lado, foi considerado o cenário no qual o financiamento seria referente ao sistema adutor sendo necessário a empresa amortizar o projeto piloto. A Tabela 26 apresenta os dados tendo esta hipótese em consideração.

Tabela 26- Dados de cálculo referentes ao investimento para implementação e adução de ApR na ETAR do Freixo para produção de 1 000 m³/dia com financiamento para o sistema adutor no ano zero

Infraestruturas	Custo (€)	Tempo de vida útil (anos)	Amortização anual (€)	% Manutenção	Custo manutenção (€/ano)
Piloto MBR	750 000	20	37 500	0,50	3 750
Interligação na ETAR	41 800	20	2 090	0,25	104,5
Depósitos na ETAR	19 800	20	990	0,25	49,5
Sistema Adutor	1 300 000	50	0	0,25	3 250
Total	2 111 600	-	40 580	-	7 154

Deste cenário resultam os valores de tarifa de 0,81 €/m^3 e 0,93 €/m^3 para um consumo anual e de apenas sete meses, respetivamente.

- **Totalidade do Projeto a Fundo Perdido**

Por último, foi aplicada a mesma forma de cálculo considerando que a totalidade do investimento inicial seria a fundo perdido resultando na não necessidade de amortização que se traduz numa redução considerável da tarifa. A Tabela 27 ilustra esta possibilidade.

Tabela 27- Dados de cálculo referentes ao investimento para implementação e adução de ApR na ETAR do Freixo para produção de 1 000 m³/dia com financiamento para a totalidade da implementação no ano zero

Infraestruturas	Custo (€)	Tempo de vida útil (anos)	Amortização anual (€)	% Manutenção	Custo manutenção (€/ano)
Piloto MBR	750 000	20	0	0,50	3 750
Interligação na ETAR	41 800	20	0	0,25	104,5
Depósitos na ETAR	19 800	20	0	0,25	49,5
Sistema Adutor	1 300 000	50	0	0,25	3 250
Total	2 111 600	-	0	-	7 154

Neste caso, o valor imputado à tarifa num cenário de consumo anual seria de 0,41 €/m^3 e de 0,38 €/m^3 para consumo num período de sete meses.

4.4.6.1.2 Ano Horizonte

Todo o processo de cálculo foi desenvolvido da mesma forma que o processo descrito para o ano zero, alterando apenas os caudais médios. Todos os valores referentes aos custos de investimento e respetivas amortizações foram efetuados de igual modo. Sabendo os consumos médios mensais obtidos com base nos consumos reais dos clientes foi feita uma proporção encontrando os caudais espectáveis para um consumo máximo correspondente à totalidade da produção, 1 000 m^3/dia.

Assim, a Tabela 28 apresenta um exemplo de uma tabela realizada para o cálculo da tarifa para o ano horizonte onde é possível perceber os caudais considerados para este horizonte temporal.

Tabela 28- Total de custos para cálculo final da tarifa para uma produção de 1 000 m³ consumidos ao longo de todo o ano para o ano horizonte

Mês	Caudal médio (m³/dia)	Caudal médio (m³/mês)	% de uso em função da produção	Custo mensal de produção (€)	Custo de bombagem (€)	Custo de manutenção (€)	Amortização anual (€)	Total Custos (€)	Tarifa (€/m³)
janeiro	307	9 214,781	31	2 191	670				
fevereiro	386	11 570,44	39	2 191	842				
março	538	16 143,19	54	2 191	1 174				
abril	538	16 143,19	54	2 191	1 174				
maio	693	20 785,22	69	2 191	1 512				
junho	924	27 713,63	92	2 191	2 016				
julho	1 000	30 000	100	2 191	2 182	7 154	66 580	116 818	**0,51**
agosto	1 000	30 000	100	2 191	2 182				
setembro	848	25 427,25	85	2 191	1 850				
outubro	693	20 785,22	69	2 191	1 512				
novembro	462	13 856,81	46	2 191	1 008				
dezembro	307	9 214,781	31	2 191	670				
Total		230 854,5		26 292	16 792				

Os valores resultantes de todos os cálculos são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29- Valores resultantes dos cálculos de tarifa efetuados para uma produção de 1 000 m³/dia no ano horizonte

	Custo Total	Custo Total a 7 meses	Produção Financiada	Produção 7 meses Financiada	Adução Financiada	Adução 7 meses Financiada	Total Financiado	Total Financiado 7 meses
Tarifa ano horizonte produção diária de 1 000 m3 (€/m³)	0,51	0,59	0,33	0,36	0,39	0,44	0,22	0,20

4.4.6.2 Produção diária de 4 000 metros cúbicos (objetivo para 2030)

O mesmo trabalho foi realizado para um consumo diário de 4 000 m³, sendo este o objetivo para o ano de 2030.

Neste ponto importa destacar que o investimento foi considerado como sendo proporcional. Isto é, para a implementação do tratamento de MBR, por exemplo, que tem um custo de 750 000 € para uma produção de 1 000 m³/dia, considerou-se este valor multiplicado por quatro para uma produção quatro vezes maior. Apesar de se prever que este valor seja sobre-estimado, tendo em conta a ausência de dados relativos a estes

custos considerou-se o pior cenário sendo assim estimado numa perspetiva mais conservadora.

Na Tabela 30 são apresentadas as condições consideradas na produção diária de 4 000 m^3.

Tabela 30- Dados de cálculo referentes ao investimento para implementação e adução de ApR na ETAR do Freixo para produção de 4 000 m^3/dia

Infraestruturas	Custo (€)	Tempo de vida útil (anos)	Amortização anual (€)	% Manutenção	Custo manutenção (€/ano)
Piloto MBR	3 000 000	20	150 000	0,50	15 000
Interligação na ETAR	167 200	20	8 360	0,25	418
Depósitos na ETAR	79 200	20	3 960	0,25	198
Sistema Adutor	1 700 000	50	34 000	0,25	4 250
Total	4 946 400	-	196 320	-	19 866

À semelhança do processo efetuado para a produção de 1 000 m^3, as Tabela 31 e Tabela 32 ilustram o trabalho realizado para obter os valores que permitirão encontrar a tarifa em função dos diferentes cenários considerados para uma adução de 4 000 m^3/dia.

Tabela 31- Dados de cálculo referentes ao custo do tratamento com MBR na ETAR do Freixo para produção de 4 000 m^3/dia

Consumíveis	Quantidade	Custo (€/m^3)	Produção total (m^3/dia)	Custo total (€/dia)
Energia	0,2-0,5 kWh/m^3	0,0539	4 000	215,60
Reagentes	0,035-0,05 L/m^3	0,019	4 000	76,50
Total	-	-	-	292,10

Tabela 32- Custos energéticos de adução diária de 4 000 m^3

Locais	Adução (%)	Altura manométrica (m)	Potência (€/m^3)	Produção (m^3/dia)	Custo (€/dia)
ETAR do Freixo	20	0	0,000	800	0,00
Ecocentro Vigorosa	30	80	0,056	1 200	67,14
Viveiro Municipal	50	160	0,112	2 000	223,81
Total	100	-	-	-	290,96

4.4.6.2.1 Ano Horizonte

Conforme descrito anteriormente, para a produção de 4 000 m^3/dia foi apenas considerado o cenário referente ao ano horizonte. À semelhança do processo realizado para a produção de 1 000 m^3/dia, a variação é referente aos consumos mensais apresentados no exemplo da Tabela 33 que se refere ao cálculo da tarifa para um consumo durante todo o ano sem qualquer financiamento.

Tabela 33- Total de custos para cálculo final da tarifa para uma produção de 4 000 m³ consumidos ao longo de todo o ano no ano horizonte

Mês	Caudal médio (m³/dia)	Caudal médio (m³/mês)	% de uso em função da produção	Custo mensal de produção (€)	Custo de bombagem (€)	Custo de manutenção (€)	Amortização anual (€)	Total Custos (€)	Tarifa (€/m³)
janeiro	1 229	36 859,12	31%	8 763	2 681	19 866	196 320	388 511	**0,42**
fevereiro	1 543	46 281,76	39%	8 763	3 367				
março	2 152	64 572,75	54%	8 763	4 697				
abril	2 152	64 572,75	54%	8 763	4 697				
maio	2 771	83 140,88	69%	8 763	6 048				
junho	3 695	110 854,5	92%	8 763	8 063				
julho	4 000	120 000	100%	8 763	8 729				
agosto	4 000	120 000	100%	8 763	8 729				
setembro	3 390	101 709	85%	8 763	7 398				
outubro	2 771	83 140,88	69%	8 763	6 048				
novembro	1 848	55 427,25	46%	8 763	4 032				
dezembro	1 229	36 859,12	31%	8 763	2 681				
Total	-	923 418	-	105 156	67 169				

Foram efetuados diversos cálculos intermédios que permitiram elaborar a Tabela 34 que reflete os diferentes valores de tarifa encontrados para o consumo de 4 000 m³/dia para o ano horizonte considerando vários cenários de financiamento.

Tabela 34- Valores resultantes dos cálculos de tarifa efetuados para uma produção de 4 000 m³/dia no ano horizonte

	Custo Total	Custo Total a 7 meses	Produção Financiada	Produção 7 meses Financiada	Adução Financiada	Adução 7 meses Financiada	Total Financiado	Total Financiado 7 meses
Tarifa ano horizonte produção diária de 4 000 m³ (€/m³)	0,42	0,48	0,24	0,24	0,38	0,43	0,20	0,19

4.4.6.3 Comparação entre as tarifas calculadas

Os vários valores de tarifa encontrados em função das condições de produção, adução, financiamento e horizonte temporal foram compilados na Tabela 35, sendo assim possível analisar estes dados efetuando uma comparação entre todos.

Tabela 35- Valores de tarifa em função da produção, consumo, financiamento e horizonte temporal

	Custo Total	Custo Total a 7 meses	Produção Financiada	Produção 7 meses Financiada	Adução Financiada	Adução 7 meses Financiada	Total Financiado	Total Financiado 7 meses
Tarifa ano zero produção diária de 1 000 m^3 (€/m^3)	1,07	1,28	0,67	0,73	0,81	0,93	0,41	0,38
Tarifa ano horizonte produção diária de 1 000 m^3 (€/m^3)	0,51	0,59	0,33	0,36	0,39	0,44	0,22	0,20
Tarifa ano horizonte produção diária de 4 000 m^3 (€/m^3)	0,42	0,48	0,24	0,24	0,38	0,43	0,20	0,19

Através da análise da Tabela anterior, é percetível que os valores de tarifa são mais elevados quando a totalidade dos custos tem de ser amortizada.

Verifica-se que, na maioria dos casos, quando a produção é realizada durante todo o ano a tarifa é inferior, sendo que apenas quando o investimento é totalmente financiado é que se justifica, em termos económicos, produzir e distribuir ApR apenas no período de maior consumo.

Conclui-se que na impossibilidade do financiamento do total do custo de implementação, a amortização da produção é a que permite uma maior redução da tarifa.

Compreende-se assim que considerando o financiamento de todo o investimento e aumentando o volume de consumo de ApR, os valores de tarifa encontrados são promissores.

De modo a reduzir estes valores para que seja viável a produção de maiores quantidades permitindo o alcance dos objetivos propostos, será necessário tomar medidas que permitam um maior consumo de ApR como a distribuição a um maior número de clientes. Paralelamente, assente numa visão de economia de escala, o aumento de produção permitirá reduzir a tarifa, nomeadamente através de fatores como a negociação do custo dos reagentes quando consumidos em maior quantidade.

Analisando a tarifa aplicada em 2023, referente a água de abastecimento, apesentada no tarifário da empresa Águas e Energia do Porto, verifica-se que a tarifa que se aplicaria a esta tipologia de clientes é a tarifa não doméstica para "Ilhas (Zonas Comuns) | Bonificadas| Organizações Desportivas| CMP| Juntas Freguesia| Piscinas" com um custo de 1,39 €/m^3. [77]

Comparando este valor com a Tabela 35, compreende-se que a ApR se revelaria economicamente vantajosa para os clientes.

Considerando a tarifa aplicada na situação atual, produção de 1 000 m^3/dia no ano zero sem qualquer tipo de financiamento, de 1,07 €/m^3 e comparando com o valor praticado atualmente para água de abastecimento, é percetível que os clientes que optem por esta origem alternativa de água terão a sua tarifa reduzida em 0,32 €/m^3.

Considerando a média mensal de consumo de todas as instalações analisadas de 123 m^3, esta diferença de tarifa poderá resultar numa diminuição de 39,36 € no valor final da fatura mensal.

Se no futuro esta solução for implementada noutros contextos estendendo-se para clientes privados, para os quais atualmente se aplica a tarifa de escalão único para clientes não domésticos, uma tarifa de 1,78 €/m^3, a redução verificada será ainda maior representando 0,71 €/m^3.

De modo a aumentar a adesão e segurança sentida por parte dos clientes em relação a esta solução de abastecimento de água, a empresa prevê garantir um caudal mínimo de abastecimento acordado previamente com o cliente, de modo a, em caso de falha do sistema, a distribuição ser realizada recorrendo a água de abastecimento.

Neste sentido, e considerando a tarifa concreta em análise, importa ainda referir que em termos económicos este projeto se traduz, numa fase inicial, num grande impacte para a empresa uma vez que para além dos custos de implementação e exploração, a receita resultante da ApR vendida em substituição da Água de Abastecimento será reduzida. Apesar disso, deste projeto resultarão inúmeras vantagens difíceis de quantificar, como é o caso do apoio que a empresa prestará à transição de paradigma de consumo e as vantagens ambientais associadas.

4.5 Situação atual ETAR de Sobreiras

Esta dissertação foi desenvolvida no decorrer da realização e aplicação do projeto para a ETAR do Freixo, tendo sido por isso o foco da empresa Águas e Energia do Porto, E.M., neste período. No entanto, de modo a apresentar conclusões para o território municipal numa visão geral e a contribuir para o futuro deste projeto, foram realizadas algumas considerações também para a zona ocidental da cidade do Porto.

À semelhança do procedimento efetuado para a ETAR do Freixo, o efluente resultante da ETAR de Sobreiras foi também analisado de forma a compreender quais os parâmetros que devem ser intervencionados de modo a elevar a qualidade do efluente até à classe A estabelecida pela legislação nacional vigente.

A Tabela 36 apresenta a comparação entre os valores os exigidos para cada parâmetro segunda a legislação nacional vigente e os dados obtidos à saída da ETAR de Sobreiras sem realização de tratamento complementar.

Tabela 36- Comparação entre a qualidade de água exigida pela legislação vigente e qualidade à saída da ETAR de Sobreiras sem tratamento complementar

	Parâmetros						
	CBO_5 (mg/L O_2)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	E. coli (ufc/100 mL)	Azoto amoniacal (mg NH_4^+/L) [1]	Azoto total (mg N/L) [1]	Fósforo total (mg P/L) [1]
Exigências Classe A Legislação Portuguesa	≤ 10	≤ 10	≤ 5	≤ 10	10	15	5
Valores de referência de qualidade entre janeiro de 2021 e outubro de 2022 na ETAR de Sobreiras	11,5	13,9	-	902,5	8,1	17,0	0,8

[1] Parâmetro facultativo. Poderá ser aplicável em alguns projetos de rega para minimização dos riscos de formação de biofilme e obstrução dos sistemas de rega

Através da análise da Tabela anterior, é possível compreender que no caso da ETAR de Sobreiras para além da bactéria E. coli os parâmetros referentes à Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5) e Sólidos Suspensos Totais (SST) apresentam também valores mais elevados do que os definidos pela legislação vigente para classe A. Os valores atuais inserem-se na classe C que estabelece como possíveis usos a rega agrícola com restrição de acesso como limitar a culturas consumidas em cru que crescem acima do solo na qual a parte consumível não está em contacto direto com a água e a culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos. [48]

Assim, conclui-se que de modo a atingir a classe A de ApR definida pela legislação, deverão ser implementados processos de tratamento complementar de modo a melhor os indicadores anteriormente referidos.

Cruzando vários dados da literatura referentes ao tratamento de águas em outras ETAR inclusivamente com efluentes que apresentam características semelhantes, prevê-se que tratamento complementar a implementar na ETAR de Sobreiras possa passar por ultrafiltração e desinfeção. A desinfeção poderá acontecer recorrendo a ozono ou cloro tendo em consideração que ambos apresentam vantagens e desvantagens que melhor se poderão adaptar às condições em análise.

Esta é uma área da cidade com bastante potencial para utilização de ApR porque, conforme é visível no mapa apresentado na Figura 32, tem várias instalações na sua envolvente que se destinam, principalmente, à irrigação de espaços verdes e jardins.

4.6 Outras soluções e comparação económica

Conforme referido anteriormente, existem outras origens de água. Uma delas é a água subterrânea sendo que nesta origem é extraída água nos aquíferos e linhas de água. Estes são reabastecidos por águas pluviais ou até mesmo, à semelhança do que acontece noutros países, por águas residuais tratadas através do seu encaminhamento para aquíferos.

A água pode ser extraída através de poços (a uma profundidade inferior) ou, garantindo uma maior quantidade e regularidade de água, através de furos (água extraída a uma maior profundidade).

Apesar de no município do Porto não se encontrarem os maiores aquíferos nacionais, verificou-se, no capítulo 2.1.3, que no subsolo da cidade se localiza uma vasta rede hidrográfica capaz de responder a várias necessidades de usos de água, principalmente para rega, que não é aproveitada na sua maioria. Assim, foi ainda estudada a possibilidade de utilizar águas subterrâneas como uma fonte alternativa exclusiva ou complementar de água para algumas instalações. Isto é, em alguns casos poderá ser mais vantajoso utilizar água de abastecimento e água subterrânea ou até uma conjugação entre estas e ApR em situações em que se verifiquem elevados consumos de água. Estas possibilidades devem ser analisadas de forma detalhada para cada local uma vez que envolvem diversas

variantes tais como a disponibilidade de águas subterrâneas na zona, a presença de outros furos nas imediações e a autorização por parte da entidade responsável pela atribuição destas licenças. Em Portugal, a captação de água é regulada pela Agência Portuguesa do Ambiente, responsável por licenciar esta extração que está sujeita a limitações como a proximidade entre furos que não deve ser inferior a 100 metros de modo a garantir a existência de água para todos os consumidores.

De modo a estudar a viabilidade económica desta solução foram efetuados cálculos que relacionam o custo de implementação e exploração de forma a determinar o custo por metro cúbico.

Considerando informações fornecidas pela APA, sabe-se que um furo efetuado na cidade do Porto tem uma profundidade de cerca de 100 metros, uma produtividade de, aproximadamente, 3 m^3 por hora e um custo de implementação associado de, sensivelmente, 5 000 €. Através de dados bibliográficos percebeu-se ainda que o custo anual de manutenção de um furo é de cerca de 500 €. [78]

Para encontrar os valores referentes ao custo associado ao gasto energético recorreu-se novamente à equação 4 apresentada anteriormente, considerando também o rendimento da bomba de 60 %.

Através destes dados foi possível encontrar os valores apresentados na Tabela 37.

Tabela 37- Custos associados à extração de águas subterrâneas através de um furo

	Custo Inicial (€)	Amortização (anos)	Custo Anual (€)	Custo Horário (€)	Custo (€/m^3)
Furo + Bomba	5 000	10	500	0,06	0,02
Eletricidade	-	-	1 838,07	0,21	0,07
Manutenção	-	-	500	0,06	0,02
Total	-	-	-	-	0,11

Deve ainda ter-se em consideração que a utilização de água de origem subterrânea está associada a outros custos. Pode verificar-se a necessidade de tratamento complementar através de filtração devido a características do efluente como elevado teor em ferro. A esta característica associa-se uma elevada necessidade de manutenção dos equipamentos uma vez que estes sofrem deterioração e entupimentos frequentes (inclusivamente, os operacionais alocados ao Viveiro Municipal referiram uma necessidade frequente de desentupimento dos sistemas de rega como mangueiras e aspersores) podendo ser

necessário optar por equipamentos de irrigação com características específicas sendo, por este motivo, mais dispendiosos.

Importa ainda considerar que as bombas necessárias para a extração de água por furos necessitam de uma frequente manutenção podendo aumentar o custo da água.

Através dos resultados apresentados na Tabela anterior é possível encontrar vários pontos relevantes. Quando em comparação com ApR, compreende-se que esta fonte alternativa de água é bastante competitiva uma vez que o seu custo é de apenas 0,11 €, sendo inferior a qualquer uma das tarifas encontradas para os vários cenários de ApR. Torna-se assim claro que para que a ApR possa competir com os valores de água proveniente de furos, é necessário que a implementação destes projetos seja apoiada por financiamento como fundos nacionais e internacionais que promovam a gestão sustentável do setor da água. No cenário mais competitivo de produção de ApR de 4 000 m^3/dia no ano horizonte e com financiamento total, a tarifa seria apenas 0,08 €/m^3 superior à água de furo.

À ApR acrescem as vantagens de ser uma fonte de água regular dado que a sua produção está, maioritariamente, dependente da produção de águas residuais que é uma constante num município urbanizado como o Porto, e o facto da sua qualidade ser controlada com regularidade.

Por fim, conclui-se assim que a água subterrânea poderá ser também uma solução bastante útil e que esta deverá ser considerada no âmbito da gestão de água no município.

5 CONCLUSÕES

No decorrer desta dissertação foram analisados vários exemplos, nomeadamente internacionais, do trabalho que tem vindo a ser realizado no sentido da mitigação do efeito das alterações climáticas que conduzem à escassez de água. Compreendeu-se assim que é essencial serem criadas medidas de adaptação uma vez que a tendência é que as consequências destes eventos se tornem mais notórias. Assim, devem ser analisados os projetos implementados noutros pontos do globo e adaptar as medidas que melhor se adequam ao contexto dos municípios portugueses.

Após a análise de todos os fatores considerados ao longo deste relatório, é possível concluir que a mudança da origem de água é, não só possível, como também essencial. Esta mudança, para além das vantagens ambientais associadas, promoverá também o processo de sensibilização e alteração de paradigma no que concerne à utilização dos recursos hídricos mostrando à sociedade a necessidade de repensar os comportamentos. Este tipo de projetos aumenta a visão de segurança em relação a estas soluções abrindo espaço a outras mudanças que poderão ser necessárias futuramente.

Relativamente aos padrões de consumo médio ao longo do ano e analisando apenas os clientes que apresentam maiores dispêndios de água e que poderão ser abrangidos com a implementação deste projeto nas imediações da ETAR do Freixo, alcança-se um consumo médio mensal de cerca de 8 000 m^3, aproximadamente 266 m^3/dia. Assim, conclui-se que tendo como alvo apenas estes consumidores as metas não serão cumpridas dado que em 2030 o caudal reutilizado deve ser de cerca de 4 000 m^3/dia. Paralelamente, apesar do tratamento por MBR se mostrar bastante eficaz em termos qualitativos, a capacidade quantitativa da instalação colocada na ETAR não é ainda suficiente, sendo de apenas 1 000 m^3/dia. É assim percetível que no sentido de manter a evolução deste projeto deve ser feita uma aposta no aumento dos clientes que poderão utilizar ApR.

A empresa Águas e Energia do Porto, E.M. tem feito um grande esforço no sentido de atingir as metas propostas e de alargar esta rede. Os esforços de planeamento e contacto de potenciais clientes, ainda que privados, permitirá continuar a caminhar no sentido do sucesso deste projeto.

Prevê-se que a aceitação por parte dos clientes seja satisfatória e aliada a uma rápida adaptação, isto porque a empresa pretende facilitar o processo de utilização aos clientes

garantindo todas as necessidades de abastecimento, a tarifa aplicada a ApR será menor do que a atual tarifa aplicada à água de abastecimento e a empresa será capaz de garantir uma qualidade e segurança no abastecimento regular. A adoção desta origem de água por parte de cliente com um elevado impacte social contribuirá também para uma facilitada implementação do projeto.

À data da realização desta dissertação, não é espectável o cumprimento da meta estabelecida para 2025 tendo em conta que a atual capacidade de produção de ApR na ETAR do Freixo representa apenas cerca de 5 % do caudal tratado diariamente. Paralelamente, para a ETAR de Sobreiras não há ainda um projeto de reutilização de águas residuais definido.

O município do Porto revelou ter características vantajosas como o efluente residual maioritariamente urbano sem significativa quantidade de efluente industrial e uma gestão de vários setores relevantes feita por parte da mesma entidade, a Câmara Municipal do Porto. Estas características aliadas ao trabalho desenvolvido pela empresa Águas e Energia do Porto, E.M. são capazes de se sobrepor a desafios que se levantam na região tais como a diferença acentuada de altitudes entre vários pontos.

Apesar das águas subterrâneas não apresentarem igual estabilidade no que concerne à regularidade de produção que a ApR, a possibilidade da sua utilização para necessidades de rega mostrou-se promissora a nível económico. Compreende-se que, de modo a tornar a solução de ApR competitiva economicamente, será necessário recorrer a financiamentos de modo a permitir o investimento a fundo perdido.

Ao longo deste estudo foi essencial ter informações relativamente aos consumos, nomeadamente aos consumos horários obtidos através de telemetria. De igual modo mostrou-se fundamental a cooperação entre a empresa e unidades orgânicas da CMP responsáveis pela gestão dos espaços verdes, pelo centro de recolha animal e pela limpeza dos espaços públicos no sentido de compreender as necessidades e hábitos reais do município e as alterações necessárias, pelo que deverá ser um procedimento mantido no caso de expansão da rede.

Tendo em conta o elevado consumo de água para rega em produções agrícolas e a escassez de água crescente que se tem feito sentir, prevê-se que a solução de reutilização de águas residuais tratadas seja vantajosa a nível nacional uma vez que, ao contrário de outras origens alternativas de água, esta não está dependente de fatores meteorológicos.

Considera-se ainda que a exigência imposta pelo Ministério do Ambiente e da Ação Climática deve ser estendida a outras ETAR, isto porque as cinquenta maiores ETAR às quais esta proposta se aplica localizam-se, maioritariamente, em grandes centros urbanos. No entanto, esta origem de água será mais utilizada para irrigação, nomeadamente de terrenos agrícolas. Como é sabido, estes terrenos são mais abundantes em zonas com menor densidade populacional, pelo que se prevê que seria um recurso com mais valor nestas zonas onde se verifica um maior potencial de utilização.

Tendo com exemplo o que acontece em outros países, a ApR é utilizada na agricultura em grande quantidade. Nesses casos a tarifa de ApR é mais baixa do que a água para abastecimento sendo, por isso, frequentemente escolhida. Em Portugal a visão ainda não é esta, percebe-se ainda uma forte cultura de consideração da água como um recurso garantido e gratuito. No entanto, tendo em conta as circunstâncias climáticas atuais, será necessária uma mudança para que estes projetos sejam aceites e cresçam no seio da agricultura nacional. Assim, considera-se que será vantajosa uma intervenção do Governo no sentido de promover esta transição para uma maior utilização na agricultura através de medidas que poderão passar por incentivos económicos.

Em suma, devem ser consideradas as várias alternativas de origem de água no sentido de uma gestão integrada no município promovendo assim a otimização e sustentabilidade do setor.

6 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Esta dissertação foi elaborada durante o processo de planificação do projeto de reutilização de águas residuais no município. Apesar de ter sido um mais-valia fazer parte do processo e aprender sobre o seu planeamento, impossibilitou que neste relatório fossem espelhadas conclusões exatas sobre o caminho que será efetivamente seguido. Assim, neste capítulo, serão nomeadas recomendações para o futuro deste projeto considerando o ponto intermédio em que este projeto se encontra.

No sentido de, a médio e longo prazo, facilitar a implementação deste projeto e de responder às necessidades efetivas do município, recomenda-se a continuação do trabalho de renovação do parque de contadores de água e de adoção de sistemas de comunicação de telemetria horária, para instalações que registam grandes consumos. Esta medida permitirá um mais rigoroso controlo dos consumos, uma melhor gestão e a ampliação da rede de adução e distribuição de ApR.

Apesar da segurança no que concerne à qualidade do efluente assegurada pela tecnologia MBR aplicada na ETAR do Freixo, será importante estudar a influência de fatores externos no efluente. No caso do tempo de recrescimento de microrganismos que permitiu determinar o tempo de retenção, por exemplo, o estudo realizado é referente a um efluente semelhante ao da ETAR do Freixo, no entanto, seria vantajoso realizar ensaios laboratoriais para o efluente oriundo da ETAR do Freixo e estudar o seu comportamento noutras condições como em períodos de maior calor e exposição solar. Esta informação poderá demonstrar a necessidade de ajustes como a utilização de cloro para desinfeção mais eficaz do efluente. No sentido de completar este estudo, podem ainda ser realizados ensaios que permitam compreender o impacte que a utilização de ApR terá, nomeadamente a possível acumulação de alguns componentes no solo e a absorção dos mesmos pelas plantas que, posteriormente poderão ser consumidas pelo ser humano avaliando os seus impactes na saúde.

Ainda no que concerne à qualidade, as análises efetuadas ao efluente não englobam a avaliação da turvação. Apesar da água, aparentemente, cumprir os parâmetros, recomenda-se que esta avaliação seja efetuada não só de modo a cumprir as exigências legais, como também para garantir uma mais rigorosa avaliação da qualidade do efluente.

Uma das dificuldades sentidas ao longo deste trabalho foi a georreferenciação exata das instalações tendo sido necessário localizar manualmente a maioria das instalações no mapa, de forma aproximada. Numa perspetiva de crescimento da rede e tendo em consideração a quantidade de potenciais recetores desta água, recomenda-se a identificação exata dos locais que poderão receber ApR, nomeadamente as instalações destinadas a irrigação de pequenos espaços verdes que se dividem em diferentes placas de rega, para uma mais simples e eficiente gestão.

Este é um projeto que acarreta consumos de recursos energéticos e de reagentes e infraestruturas robustas com necessidade de obras de instalação e manutenção. Todos estes fatores estão associados a uma pegada ecológica que deve ser estudada numa lógica de avaliação de ciclo de vida de modo a compreender se esta reutilização será mais vantajosa ecologicamente do que a descarga em meio hídrico natural. É espectável que o tratamento complementar da água para posterior reutilização seja mais vantajoso até porque se devem considerar mais fatores como a adaptação a situações futuras, no entanto importa apoiar estas decisões impactantes em informação científica de modo a informar a sociedade civil e a transmitir transparência e segurança nas decisões.

Ainda neste sentido, recomenda-se que no decorrer deste projeto seja analisada, detalhadamente, a necessidade de produção de ApR, nomeadamente durante os meses em que se verifica uma maior pluviosidade. Isto porque uma produção excessiva num período em que não haja necessidade de consumo poderá significar o desperdício de recursos como reagentes e energia podendo resultar num efeito contraproducente em relação ao objetivo inicial de minimizar os impactes ambientais.

Considera-se ainda que as percentagens definidas como meta pelo Governo são extremamente exigentes levando a uma forte probabilidade de inviabilização do seu cumprimento, pelo que se recomenda que sejam ouvidas as partes interessadas no momento do estabelecimento de objetivos desta importância de modo a auscultar a realidade vivida localmente e estabelecer metas exequíveis.

Por último, tendo em conta o rascunho da possível alteração à legislação europeia referente à água residual destinada à descarga no ecossistema, prevê-se que em poucos anos possam surgir também alterações na lei destinada à água para reutilização. Seguindo esta linha, recomenda-se que as alterações executadas nas ETAR tenham já em vista uma possível necessidade de melhoria da qualidade do efluente relacionada com a presença de

outros contaminantes como fármacos, efetuando desde já análises de modo a compreender a qualidade atual do efluente nestes parâmetros, nomeadamente após o tratamento realizado pelas membranas de MBR.

7 BIBLIOGRAFIA

[1] "https://apambiente.pt/agua," [Online].

[2] J. M. C. B. S. Barros, "Perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água- Erros de medição," julho 2015.

[3] "Nações Unidas- Centro Regional de Informação para a Europa Ocidental," [Online]. Available: https://unric.org/pt/agua/.

[4] E. E. Agency, "Water stress," [Online]. Available: https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/water-stress.

[5] H. A. J. V. L. A. F. Van Loon, "Making distinction between water scarcity and drought using an observation-modeling framework".

[6] E. Commission, "Water Stress and Urbanisation".

[7] "World Resources Institute- Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040," [Online]. Available: https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040.

[8] C. n. d. água, "A água e os rios no futuro- Contributos do CNA para decisões estratégicas no setor da água," Joaquim Poças Martins, Francisco Godinho.

[9] W. E. Forum, "Ensuring sustainable water management for all by 2030," [Online]. Available: https://www.weforum.org/impact/sustainable-water-management/.

[10] "United Nations Water- Water Scarcity," [Online]. Available: https://www.unwater.org/water-facts/water-scarcity.

[11] "World Resources Institute- Global Water Watch," [Online]. Available: https://www.wri.org/initiatives/global-water-watch.

[12] Águas e Energia do Porto, E.M., "Relatório & Contas 2021".

[13] "Nações Unidas Brasil," [Online]. Available: https://brasil.un.org/pt-br/125639-acnur-deslocamentos-relacionados-ao-clima-sao-mais-que-o-dobro-dos-provocados-por-conflitos.

[14] "World Economic Forum," [Online]. Available: https://www.weforum.org/agenda/2021/06/climate-refugees-the-world-s-forgotten-victims/.

[15] E. R. d. S. d. Á. e. R. (ERSAR), "Projeto de Recomendação sobre Águas para Reutilização- Resumo para a consulta pública".

[16] D. D. D. K. K. Despo Fatta-Kassinos, "Advanced Treatment Technologies for Urban Wastewater Reuse".

[17] "Petrochem," [Online]. Available: https://www.petrochem.pt/pt/area-de-negocio/tratamento-de-aguas/equipamentos/filtracao/o-que-faz-e-como-funciona-uma-osmose-inversa.html.

[18] "Iberdrola- dessalinização," [Online]. Available: https://www.iberdrola.com/inovacao/dessalinizacao.

[19] [Online]. Available: https://www.eosconsultores.com.br/agua-cinza-reutilizacao/.

[20] A. d. S. A. Mário Valente Neves, "Espicificações Técnicas para o Aproveitamento da Água das Chuvas e das Águas Cinzentas nos Edifícios".

[21] D. P. John C. Radcliffe, "Water reuse and recycling in Australia- history, current situation and future prespectives," 2020.

[22] A. Government, "Water Rating," [Online]. Available: https://www.waterrating.gov.au/.

[23] N. Geographic, "Making Every Drop Count: How Australia is Securing its Water Future," [Online]. Available: https://www.nationalgeographic.com/environment/article/partner-content-how-australia-is-securing-its-water-future.

[24] Hoteis.com, "Gardens by the Bay," [Online]. Available: https://pt.hoteis.com/go/singapore/gardens-by-the-bay?pos=HCOM_PT&locale=pt_PT.

[25] I. W. Association, "Singapore," [Online]. Available: https://iwa-network.org/city/singapore/.

[26] S. N. W. Agency, "Singapore Water Story," [Online]. Available: https://www.pub.gov.sg/watersupply/singaporewaterstory.

[27] UNESCO, "The United Nations World Water Development Report. Nature-Based Solutions for Water," 2018.

[28] D. d. Notícias, "Cidades-esponja. O que são e como podem ser resposta às cheias e secas em meio urbano," [Online]. Available: https://www.dn.pt/sociedade/cidades-esponja-o-que-sao-e-como-podem-ser-resposta-as-cheias-e-secas-em-meio-urbano-15510895.html.

[29] world-architects.com, “Turenscape,” [Online]. Available: https://www.world-architects.com/en/turenscape-haidian-district-beijing/project/the-floating-gardens-yongning-river-park.

[30] P. NewsHour, *How Israel became a leader in water use in the Middle East.*

[31] S. T. J. Y. K. R. Philippe Marin, “Water Management in Israel”.

[32] S. T. J. Y. K. R. Philippe Marin, “Water Management in Israel”.

[33] euronews.green, “The future of wine: Israel's desert vineyards show us how to cope with a changing climate,” [Online]. Available: https://www.euronews.com/green/2021/01/18/the-future-of-wine-israel-s-desert-vineyards-show-us-how-to-cope-with-a-changing-climate.

[34] Á. e. R. d. Madeira, “Água de Rega,” [Online]. Available: https://arm.pt/agua-de-rega/.

[35] WalkMe, “Top10: Melhores Levadas da Madeira,” [Online]. Available: https://walkmeguide.com/pt/10-best-hiking-trails/.

[36] RTP, “Reutilização da água. Efluentes tratados podem regar laranjais,” [Online]. Available: https://www.rtp.pt/noticias/pais/reutilizacao-da-agua-efluentes-tratados-podem-regar-laranjais_v1460225rt.

[37] J. Nordeste, “Mecedo é o segundo município que mais água desperdiça,” [Online]. Available: http://jornalnordeste.com/noticia/macedo-e-o-segundo-municipio-que-mais-agua-desperdica.

[38] “Ficha do projeto Beirolas,” [Online]. Available: https://www.aguasdotejoatlantico.adp.pt/sites/aguasdotejoatlantico.adp.pt/files/paginas_base/s_empresa/2021_04_16_ficha_do_projeto_beirolas.pdf.

[39] Á. d. T. Atlântico, “VIRA - Uma Cerveja Produzida Com Água Reciclada,” [Online]. Available: https://aguasdotejoatlantico.adp.pt/content/vira-uma-cerveja-produzida-com-agua-reciclada-0.

[40] Á. d. T. Atlântico, “VIRA a mentalidade, os conceitos, os hábitos e os consumos. VIRA racional! VIRA pelo ambeinte! VIRA!,” [Online]. Available: https://aguasdotejoatlantico.adp.pt/sites/aguasdotejoatlantico.adp.pt/files/paginas_base/varios/monofolha_vira_pt_digital.pdf.

[41] W. R. Europe, “Water Reuse Europe Innovation Prize 2022,” [Online]. Available: https://www.water-reuse-europe.org/news-events/water-reuse-europe-innovation-prize-2022/#page-content.

[42] “2ª Revisão ao Plano Diretor Municipal do Porto,” 2018.

[43] Porto., “Relatório de Sustentabilidade cimenta o Porto com alto índice de cumprimento da Agenda 2030,” [Online]. Available: https://www.porto.pt/pt/noticia/relatorio-de-sustentabilidade-cimenta-o-porto-com-alto-indice-de-cumprimento-da-agenda-2030.

[44] Público, “Portugal produziu em 2020 mais resíduos e não chegou perto das metas de reciclagem,” [Online]. Available: https://www.publico.pt/2021/11/08/sociedade/noticia/portugal-produziu-2020-residuos-nao-chegou-perto-metas-reciclagem-1984170.

[45] Porto., “Águas e Energia do Porto assina compromisso para combater alterações climáticas no setor,” [Online]. Available: https://www.porto.pt/pt/noticia/municipio-assina-compromisso-para-combater-alteracoes-climaticas-nos-servicos-de-agua.

[46] Porto., “Balcão Porto Energy Hub é o mais recente serviço disponível no Gabinete do Munícipe,” [Online]. Available: https://www.porto.pt/pt/noticia/balcao-porto-energy-hub-e-o-mais-recente-servico-disponivel-no-gabinete-do-municipe.

[47] O. J. H. N. Icekson-Tal, “Water reuse in Israel- the Dan Region Project: evaluation of water quality and reliability of plant's operation”.

[48] P. d. C. d. Ministros, *Decreto-Lei n.° 119/2019 de 21 de agosto.*

[49] S. Empresa de Desenvolvimento e Infra-estruturas do Alqueva, “Anuário Agrícola de Alqueva 20221”.

[50] E. Commission, “Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment (recast),” 2022.

[51] R. Portuguesa, “ConsultaLEX- Simplificação de licenças e procedimentos para empresas na área ambiental,” [Online]. Available: https://www.consultalex.gov.pt/ConsultaPublica_Detail.aspx?Consulta_Id=261.

[52] R. Portuguesa, *DL 169/XXIII/2022,* 2022.08.02.

[53] C. p. a. A. e. D. d. C. (CADC), “Convenção Albufeira,” [Online]. Available: http://www.cadc-albufeira.eu/pt/convenios/descripcion/.

[54] "Portugal não está disponível para rever Convenção de Albufeira," *Diário de Notícias,* 17 janeiro 2023.

[55] A. P. d. Ambiente, "Enquadramento," [Online]. Available: https://apambiente.pt/clima/enquadramento.

[56] A. P. d. Ambiente, "Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas (P-3AC)," [Online]. Available: https://apambiente.pt/clima/programa-de-acao-para-adaptacao-alteracoes-climaticas-p-3ac.

[57] A. P. d. Ambiente, "Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2020," [Online]. Available: https://apambiente.pt/agua/plano-estrategico-de-abastecimento-de-agua-e-saneamento-de-aguas-residuais-2020.

[58] G. d. A. à. G. d. P. 2020, "PENSAAR 2020 Uma Estratégia ao Serviço da População: Serviços de Qualidade a um Preço Sustentável- Relatório Final".

[59] G. d. S. d. E. d. Ambiente, *Despacho nº 5316/2020, de 7 de maio de 2020.*

[60] G. P. 2030, "PENSAARP 2030- Versão Consulta Pública," 2022.

[61] A. P. d. A. (APA), "Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água," [Online]. Available: https://apambiente.pt/agua/programa-nacional-para-o-uso-eficiente-da-agua.

[62] C. M. d. Porto, "Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas," 2016.

[63] A. Castro, "Trânsito cortado na Avenida Gustavo Eiffel após derrocada que atingiu hotel," *Jornal de Notícias,* 2023.

[64] "Porto, Braga e Viana voltam a estar sob aviso laranja já na segunda-feira," *Porto Canal,* 2023.

[65] C. A. e. T. Miranda, "Inundações na baixa do Porto. Chuva forte deverá regressar esta madrugada," *Público,* 2023.

[66] Porto., "Pacto do Porto para o Clima".

[67] Porto., "Município lidera pelo exemplo compromisso comum do Pacto do Porto para o Clima," [Online]. Available: https://www.porto.pt/pt/noticia/municipio-lidera-pelo-exemplo-compromisso-comum-do-pacto-do-porto-para-o-clima.

[68] B. 3. Porto., "Roadmap para a cidade do Porto circular em 2030".

[69] ERSAR, "Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal | 2021 volume 1".

[70] ERSAR, "A ERSAR publica o relatório anual de caracterização dos serviços de águas e resíduos," [Online]. Available: https://www.ersar.pt/pt/site-comunicacao/site-

noticias/Paginas/ERSAR-publica-relatorio-anual-de-caraterizacao-dos-servicos-aguas-residuos.aspx.

[71] "SAPO ECO- Em vez do PIB, já hjá cidades europeias que preferem a economia donut," [Online]. Available: https://eco.sapo.pt/2021/04/17/em-vez-do-pib-ja-ha-cidades-europeias-que-preferem-a-economia-donut/.

[72] I. N. d. Estatística, "População residente por local de residência (à data dos Censos 2021), Sexo e Grupo etário; Decenal".

[73] "Porto. Águas e Energia do Porto- Contextualização Histórica," [Online]. Available: https://www.aguasdoporto.pt/abastecimento-de-agua/contextualizacao-historica.

[74] "Porto. Águas e Energia do Porto," [Online]. Available: https://www.aguasdoporto.pt/empresa.

[75] "Águas do Porto- ETAR Freixo," [Online]. Available: https://www.aguasdoporto.pt/etar/etar-freixo-porto.

[76] "Águas do Porto- ETAR Sobreiras," [Online]. Available: https://www.aguasdoporto.pt/etar/etar-sobreiras.

[77] Á. e. E. d. Porto, *Tarifário,* 2023.

[78] G. Governance, "The Cost of Maintaining A Watter Well," [Online]. Available: https://www.groundwatergovernance.org/how-much-does-it-cost-for-water-for-well-homeowners/ .

[79] "The UN Refugee Agency," [Online]. Available: https://www.unhcr.org/climate-change-and-disasters.html?gclid=CjwKCAjw-rOaBhA9EiwAUkLV4qSBRciELdw7GFeR6lBT3D4F0FldqUXueMJquGS9SCQ0B0uaOZXn-RoCreEQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds.

[80] "Diário da República Eletrónico," [Online]. Available: https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/119-2019-124097549?_ts=1669556584551.

[81] "Porto. Perdas de água na rede pública atingem valor mais baixo de sempre em 2021," [Online]. Available: https://www.porto.pt/pt/noticia/perdas-de-agua-na-rede-publica-atingem-valor-mais-baixo-de-sempre-em-2021.

[82] E.-. E. R. D. S. D. Á. e. Resíduos, "Factos e Números," [Online]. Available: https://www.ersar.pt/pt/setor/factos-e-numeros#k=#l=2070.

[83] Á. e. R. d. Madeira, "Água Potável," [Online]. Available: https://arm.pt/agua-potavel/#dearflip-df_4972/3/.

[84] G. d. E. e. E.-. M. d. E. e. Mar, “Sínteses Esatísticas- Porto Santo”.

[85] D. R. d. E. d. M. (DREM), “Estabelecimentos Hoteleiros no Porto Santo - Principais Dados Estatísticos,” 2017.

[86] Á. d. T. Atlântico, “Fábrica de Água,” [Online]. Available: https://www.aguasdotejoatlantico.adp.pt/content/fabrica-de-agua.

[87] Águas do Tejo Atlântico, “VIRA a mentalidade, os conceitos, os hábitos e os consumos. VIRA racional! VIRA pelo ambiente! VIRA!,” [Online]. Available: https://aguasdotejoatlantico.adp.pt/sites/aguasdotejoatlantico.adp.pt/files/paginas_base/varios/monofolha_vira_pt_digital.pdf.