

**Identificação da oportunidade de criar um sistema de
recirculação de água, para o Complexo Químico de
Estarreja**

Frederico Roquete Viana Neto

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia do Ambiente

Orientadora:

Doutora Susete Maria Martins Dias

Júri

Presidente: Professora Doutora Helena Maria Pinheiro

Orientadora: Professora Doutora Susete Maria Martins Dias

Vogais: Professora Doutora Ana Fonseca Galvão

Outubro de 2022

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

A elaboração desta tese foi um percurso árduo e intenso, que teria sido impossível sem a ajuda de muitos. Assim, gostaria de expressar o meu agradecimento a todas as pessoas envolvidas na minha vida, durante este período, que ajudaram a tornar este percurso mais fácil, e me ajudaram a atingir este objetivo.

Em primeiro lugar, à minha orientadora, Doutora Susete Maria Martins Dias, pelo convite para pertencer a um projeto tão relevante e tanta importância, pela ajuda e apoio ao longo deste processo, e pela partilha de conhecimento e sabedoria, que viabilizaram o meu trabalho, em especial pela paciência, calma, assertividade e ajuda, indispensáveis ao sucesso desta dissertação.

Aos meus amigos de faculdade, que me acompanharam ao longo de todos estes anos, em especial ao Andy Lerens, Beatriz Nunes, Daniel Fernandes, Joana Vicente, Jorge Faria, João Ascensão, João Ramos, Mário Pinto Balsemão, Rita Justino e Rodrigo Costa, que sempre se disponibilizaram a ajudar, a apoiar, e a acreditar no meu sucesso. Em particular, quero agradecer ao Mário Pinto Balsemão e Rodrigo Costa, pelo incansável apoio diário, por me deixarem tornar a sua casa no meu escritório particular e por me motivarem todos os dias a ser mais e melhor.

Gostaria também de agradecer aos meus amigos Diogo Pimentel, Filipe Morgado, Francisco Tomás da Costa, Joaquim Ribeiro, José Maria Vilarinho Pereira, Lourenço Vaz Pinto, Mafalda Mendonça, Maria Roldão, Salvador Fezas Vital, e Tomás Mendonça. Seja em Portugal, ou pelo mundo fora, todos eles me ajudaram a lidar com a intensidade que vem com elaborar uma dissertação, todos me ajudaram a rir e a adotar uma visão mais positiva, e todos me ajudaram a ultrapassar os objetivos que foram aparecendo.

Aos meus irmãos, Matilde e Pedro, que ao mesmo tempo que eu, elaboraram as suas dissertações, quero agradecer pelo constante apoio e tranquilidade que me foram dando, e pelas pequenas vitórias que fomos celebrando durante este percurso.

Aos meus pais, Clarinha e Frederico, que independentemente de tudo, sempre tiveram o meu bem-estar e felicidade como prioridade, e sempre me apoiaram e acreditaram que eu iria terminar este percurso da melhor forma, quero agradecer por tudo. Qualquer que tenha sido o obstáculo a ultrapassar, sei que me poderia apoiar neles, e que fariam tudo por mim e pelo meu futuro. O vosso apoio nunca será desvalorizado.

Finalmente gostaria de agradecer à Filipa, por todo o amor, paciência, calma, alegria, animação, risos, apoio e ajuda que me dedicou, não só durante a elaboração desta dissertação, mas ao longo dos últimos 5 anos. Não é fácil lidar com alguém que se deixa absorver pelo trabalho que tem de fazer, mas a sua capacidade de me fazer ver tudo pelo lado positivo, fazer-me acreditar em mim, e ajudar-me com tudo o que alguém poderia ajudar, é algo que nunca vou esquecer, e que sempre vou valorizar. Como engenheira, como namorada, e como pessoa, não há quem mereça um obrigado tão grande.

Resumo

O rio Antuã é uma das maiores fontes de água da ria de Aveiro, uma zona de proteção especial, no norte de Portugal, que contempla uma elevada variedade de ecossistemas aquáticos, com grande importância a nível nacional e europeu. Por outro lado, o rio também representa uma importante fonte de água para o uso industrial, por parte do Complexo Químico de Estarreja, o que poderá vir a interferir com o caudal natural do rio, especialmente em épocas secas, sendo que a qualidade de água capturada também sofrerá alterações.

Esta dissertação tem como objetivo analisar a sustentabilidade técnico-financeira de um sistema de reutilização de águas tratadas, proveniente da ETAR de Cacia, pelo Complexo Químico de Estarreja, avaliando a possibilidade de utilização de águas residuais como recurso hídrico, e respetivos benefícios ambientais, e os custos associados à infraestrutura de transporte.

Para o efeito, a infraestrutura de transporte foi dimensionada utilizando os programas AutoCad e Microsoft Excel, sendo o traçado baseado nas cartas geográficas militares, provenientes do Centro de Informação Geoespacial do Exército. O projeto do sistema dimensionado seguiu o procedimento indicado no Decreto Regulamentar 23/95, de 23 de agosto.

Os resultados indicam que a implementação de um sistema de reutilização de 12 000 m³/dia de água, requer a instalação de sistema de tubagens de 15.7 km, duas estações elevatórias e quatro reservatórios. Foram considerados dois cenários de investimento base em equipamento, que correspondem a 13 865 k€ ou 18 697 k€, acrescidos de um custo operacional do sistema, associado ao consumo energético das bombas, que corresponde a 0.504 kWh/m³.

As externalidades da implementação de um sistema de recirculação de água estão alinhadas, tematicamente e em objetivos, com o contexto nacional (considerando a DQA e o Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas, dos rios Vouga, Mondego e Lis) e global, como o Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, da ONU. Planos para financiamento de ações ambientalmente sensíveis, como o Fundo de Coesão e o Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, completaram a análise de viabilidade, resultando num impacto ambiental positivo, contribuindo para a preservação do domínio hídrico, e consequentemente, dos ecossistemas da região.

Palavras-chave: Reutilização de Águas Residuais; Complexo Químico de Estarreja; ETAR de Cacia; Preservação do domínio hídrico; Sustentabilidade no uso de recursos

Abstract

The Antuã river is one of the largest suppliers of fresh water to the Aveiro lagoon and estuary, a special protection zone, in the north of Portugal, that encompasses a high variety of aquatic ecosystems, with great importance at both national and European levels. At the same time, the river represents an important water source, for industrial use, by the Estarreja Chemical Complex, which can interfere in the natural flow of the river, especially in drier seasons.

This dissertation aims to assess the feasibility and design of a water reclamation system, from the Cacia wastewater treatment station to the Estarreja Chemical Complex, while evaluating the possibility of wastewater reuse as a water source, considering the associated costs and environmental benefits that come with this reuse.

The design of the transportation infrastructure was made in AutoCad and Microsoft Excel. Data from the military geographical charts, made available by the Centro de Informação Geoespacial do Exército, plus a legal framework for the construction and implementation plan for the system, the Regulatory Decree 23/95, of the 23rd of August, were followed.

The results show the possibility of implementation of a water reclamation system, composed of a piping system 15.7 km long, with two pumping stations and four reservoirs. Two different investment scenarios were considered, corresponding to a direct cost of equipment of 13 865 k€ or 18 697 k€, with an added operational cost that corresponds to the energy consumption of the pumps that is equal to 0.504 kWh/m³.

The externalities of such an implementation would be in alignment, thematically and objective-wise, with national (considering the Water Law and the Water Basin Management Plan, of the rivers Vouga, Mondego and Lis) and global contexts, as the UN Sustainable Development Goals. The plans for funding environmentally sensitive actions in the EU, such as the Cohesion Fund and the European Regional Development Fund, complemented the viability assessment, resulting in a positive impact by contributing to preserving the hydric domain, and thus, the region's ecosystem.

Keywords: Wastewater Reclamation; Estarreja Chemical Complex; Cacia Wastewater Treatment Plant; Preservation of the hydric domain; Resource sustainability

Índice

Resumo	i
Abstract	ii
Índice	iii
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	vii
Índice de Figuras e Tabelas em Anexo	viii
Lista de abreviaturas e acrónimos	x
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos e âmbito da dissertação	2
1.3. Estrutura da Dissertação	2
2. Estado da Arte	4
2.1. Água	4
2.1.1. ODS 6 – Água potável e saneamento	6
2.1.2. Relatório Europeu do Estado do Ambiente (REA)	7
2.1.3. Diretiva Quadro da água.....	8
2.1.4. Plano de Gestão de Bacia Hidrográfica (PGBH) dos rios Vouga, Mondego e Lis... 8	
2.2. Águas Residuais.....	10
2.2.1. Águas residuais industriais	11
2.3. Tratamento de Águas Residuais	11
2.3.1. Tratamento de águas residuais industriais.....	13
2.4. Recirculação de águas residuais	13
2.4.1. Legislação Nacional.....	15
2.5. Zonas ambientalmente sensíveis	16
2.5.1. Proteção de zonas ambientalmente sensíveis	16
2.5.1.1. Rede Natura 2000	17
2.5.1.2. Convenção de Ramsar	19
3. Método	21
3.1. Caracterização dos locais de estudo	21
3.1.1. Cacia.....	21
3.1.1.1. ETAR de Cacia	21

3.1.2.	Estarreja.....	22
3.1.2.1.	Complexo Químico de Estarreja	23
3.1.3.	Ria de Aveiro	24
3.2.	Dimensionamento do sistema de abastecimento de água tratada	24
3.2.1.	Desenho do perfil longitudinal do sistema.....	25
3.2.2.	Determinação dos intervalos diâmetros do sistema de abastecimento	26
3.2.3.	Determinação das perdas de carga e linha de energia associada ao perfil longitudinal do sistema de abastecimento	27
3.3.	Determinação do investimento associado ao projeto	30
3.3.1.	Investimento base em equipamento, associado à infraestrutura	30
3.3.1.1.	Investimento associado ao sistema de tubagens	30
3.3.1.2.	Investimento associado às estações elevatórias	31
3.3.1.3.	Investimento associado aos reservatórios	31
3.3.2.	Custos de operação associados aos custos energéticos	35
3.4.	Amortização do investimento final.....	36
4.	Resultados e Discussão	37
4.1.	Dimensionamento do sistema de abastecimento de águas.....	37
4.1.1.	Desenho do perfil longitudinal do sistema.....	37
4.1.2.	Determinação do intervalo de diâmetros do sistema de abastecimento.....	40
4.1.3.	Determinação das perdas de carga e linha de energia associada ao perfil longitudinal do sistema de abastecimento	43
4.2.	Análise do investimento.....	52
4.2.1.	Investimento base em equipamento, associado à infraestrutura	52
4.2.1.1.	Investimento associado ao sistema de condutas.....	52
4.2.1.1.	Investimento associado às estações elevatórias	54
4.2.1.2.	Investimento associado aos reservatórios	55
4.2.2.	Custos operatórios associados aos custos energéticos	59
4.2.3.	Amortização do investimento total.....	61
4.3.	Discussão de resultados	63
4.3.1.	Análise do investimento em equipamento base	63
4.3.1.1.	Estratégias de amenização de custos.....	64
4.3.2.	Análise ambiental do sistema	66
4.3.2.1.	Compatibilidade com objetivos nacionais	66
4.3.2.2.	Compatibilidade com objetivos internacionais	68
4.3.2.3.	Proteção de zonas sensíveis	69

4.3.2.4. Reutilização de água	71
5. Conclusão.....	77
Referências bibliográficas.....	81
Anexos.....	I
A. Problemas e oportunidades associados à bacia hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis	I
B. Objetivos Estratégicos do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados por áreas temáticas	VI
C. Objetivos Ambientais do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados em áreas temáticas	VIII
D. Objetivos adicionais do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados por áreas temáticas	X
E. Normas de qualidade de ApR, para rega	XI
F. Normas de qualidade de ApR, para usos urbanos	XVI
G. Normas de qualidade de ApR, para uso industrial	XVIII
H. Custos de investimento em função da capacidade de reservatórios.....	XVIII
I. Capacidade de reservatórios, considerando diferentes valores de fator de pico do caudal associado.....	XIX

Índice de Figuras

Figura 1 - Diagrama esquemático do processo de intrusão salina, num aquífero costeiro, devido à existência de bombagens de água de um poço (Rech, 2021).....	5
Figura 2 - Zonas abrangidas pela Diretiva das Aves (Laranja), Diretiva dos Habitats (Azul) e ambas (Verde), em Portugal Continental (EEA, 2020a)	18
Figura 3 – Parte inicial do sistema de abastecimento de água, tendo início da ETAR de Cacia (Em amarelo).....	37
Figura 4 – Continuação do sistema de abastecimento de água, abrangendo as freguesias de Canela e Salreu (Em amarelo)	38
Figura 5 – Continuação do sistema de abastecimento de água, abrangendo a cidade de Estarreja (Em amarelo).....	38
Figura 6 – Parte final do sistema de abastecimento, tendo final na Rua do Quimiparque, que corresponde à entrada do CQE (Em amarelo)	39
Figura 7 - Perfil longitudinal do sistema de abastecimento de água, proveniente da ETAR de Cacia, até ao CQE	39
Figura 8 - Perfil longitudinal do sistema de abastecimento de água, complementado com linhas de energia associadas à utilização de tubagens com 0,63 m de diâmetro, com 4 variedades de PN.....	46
Figura 9 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, desde o início, no ponto B1 até ao ponto 13	48
Figura 10 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 13 até ao ponto 17.....	48
Figura 11 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 17 até ao ponto 28.....	49
Figura 12 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 28 até ao ponto 42.....	49
Figura 13 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 42 até ao ponto 52.....	50
Figura 14 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 52 até ao ponto 65.....	50
Figura 15 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 65 até ao ponto 81.....	51
Figura 16 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 80 até ao seu término, no ponto RF	51

Figura 17 - Valor específico de amortização, para os períodos de 5 e 10 anos, considerando os dois cenários de infraestrutura.....	63
Figura 18 - Diferença percentual de precipitação anual para o período 2071-2100, em Portugal Continental, comparado com os valores médios 1971-2000, para cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (IPMA, 2022).....	70

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Temáticas de ação ambiental, definidas pela AEA, no REA	7
Tabela 2 – Dados iniciais para o dimensionamento do sistema de abastecimento de água	40
Tabela 3 - Valores calculados para o dimensionamento das condutas	41
Tabela 4 - Valores possíveis de diâmetros nominais (externos e internos) de tubagens de PEAD, associadas a várias gamas de pressão nominal	42
Tabela 5 - Valores de áreas de secção, associados aos possíveis diâmetros de tubagens	43
Tabela 6 - Valores de raio hidráulico, associados aos possíveis diâmetros de tubagens	44
Tabela 7 - Valores de perdas de carga, associados a possíveis diâmetros de tubagens, para troços bombados.....	45
Tabela 8 - Valores de perdas de carga, associados a possíveis diâmetros de tubagens, para troços gravíticos	45
Tabela 9 - Investimento associado ao troço B1 do sistema	52
Tabela 10 - Investimento associado ao troço B2 do sistema	53
Tabela 11 - Investimento associado ao troço G1 do sistema.....	53
Tabela 12 - Investimento total, associado ao sistema de condutas, do sistema	54
Tabela 13 - Investimento associado às estações elevatórias, do sistema.....	54
Tabela 14 - Valores do volume mínimo do reservatório R3.2	56
Tabela 15 - Valores dos volumes de regularização, associados aos reservatórios do sistema	56
Tabela 16 - Valores dos volumes de reparação, associados aos reservatórios R1, R3.2 e R4	57
Tabela 17 - Valores dos volumes finais, associados aos reservatórios do sistema.....	58
Tabela 18 - Investimento final associado aos reservatórios do sistema	59
Tabela 19 - Valores de potência, associados às bombas existentes no sistema	59

Tabela 20 – Custos associados ao consumo energético das estações elevatórias, considerando o preço médio anual da energia elétrica, registado a 16 de outubro de 2022	60
Tabela 21 – Custos associados ao consumo energético das estações elevatórias, considerando o preço médio ponderado, da energia elétrica, para o mês de outubro de 2022, registado a 16 de outubro de 2022	60
Tabela 22 – Custos associados ao consumo energético das estações elevatórias, considerando o preço médio diário, da energia elétrica, para o dia 16 de outubro de 2022	61
Tabela 23 - Investimento Final associado à infraestrutura do sistema	61
Tabela 24 - Valores de juros e amortizações, para o cenário que contempla a construção do reservatório R3.1	62
Tabela 25 - Valores de juros e amortizações, para o cenário que contempla a construção do reservatório R3.2	62
Tabela 26 - Cenários de cofinanciamento, de 50% e 85%, por parte de fundos nacionais ou internacionais	66

Índice de Figuras e Tabelas em Anexo

Figuras

Figura A. 1 – Gráfico de capacidade de reservatórios, expressa em consumo médio diário anual, considerando diferentes valores de fator de pico do caudal associado (Direcção-Geral dos Recursos Naturais, 1991)	XX
---	----

Tabelas

Tabela A. 1 - Problemas e oportunidades associados à bacia hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis (Ribeiro, 2012)	I
Tabela A. 2 - Objetivos Estratégicos do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados por áreas temática (Ribeiro, 2012)	VI
Tabela A. 3 - Objetivos Ambientais do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados em áreas temáticas (Ribeiro, 2012)	VIII
Tabela A. 4 - Objetivos adicionais do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados por áreas temáticas (Ribeiro, 2012)	X
Tabela A. 5 - Normas de qualidade de água para reutilização para rega (DRE, 2019)	XI
Tabela A. 6 - Normas de qualidade de água para reutilização para rega para proteção das culturas agrícolas, florestais e solos (DRE, 2019)	XII

Tabela A. 7 - Usos e tipos de tratamento adequados em função das várias classes de qualidade da água (DRE, 2019).....	XIV
Tabela A. 8 - Normas de qualidade de água para usos urbanos (DRE, 2019).....	XVI
Tabela A. 9 - Níveis e tipos de tratamento adequados a cada uso urbano (DRE, 2019)	XVII
Tabela A. 10 - Normas de qualidade de ApR em uso industrial (proteção para contacto humano) (DRE, 2019).....	XVIII
Tabela A. 11 – Custos de investimento associado a reservatórios, tendo por base a sua capacidade volumétrica (Galvão, 2020)	XVIII

Lista de abreviaturas e acrónimos

Abreviaturas

AAE	Avaliação Ambiental Estratégica
AEA	Agência Europeia do Ambiente
ApR	Água para Reutilização
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CAA	Comissão de Acompanhamento e Avaliação
CBO₅	Carência Bioquímica de Oxigénio
CQE	Complexo Químico de Estarreja
DQA	Diretiva Quadro da Água
DN	Diâmetro nominal
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
FEDER	Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional
ICNF	Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas
IGT	Instrumentos de Gestão Territorial
MBBR	Moving Bed Biofilm Reactor
MBR	Membrane Bioreactor
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PACOPAR	Painel Consultivo Comunitário do Programa Atuação Responsável
PEOT	Planos Especiais de Ordenamento do Território
PGBH	Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis Integradas na Região Hidrográfica 4
PMOT	Planos Municipais de Ordenamento do Território
PN	Pressão nominal
PSRN2000	Plano Setorial da Rede Natura 2000
REA	Relatório do Estado do Ambiente 2020
SST	Sólidos Suspensos Totais

UE	União Europeia
USBR	United States Bureau of Reclamation
ZEC	Zonas Especiais de Conservação
ZPE	Zona de Proteção Especial

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A água é um elemento essencial à vida, sendo que a sua utilidade não se baseia apenas na subsistência dos seres vivos, mas também, no caso dos seres humanos, na sua utilização como recurso em vários setores de atividade, tais como a agricultura, indústria, transporte, lazer e manutenção dos ecossistemas e natureza em que nos inserimos (EEA, 2020).

Segundo o United States Bureau of Reclamation (USBR, 2020), de toda a água existente na Terra, apenas cerca de 3% é água potável, e apenas 0.5% está disponível para ser captada e utilizada, tornando a água um recurso limitado e de extrema importância. Por outro lado, as pressões hídricas do planeta não se limitam apenas à limitação da sua existência, mas também ao excesso da sua exploração e à poluição e pressões hidromorfológicas provocadas por fatores antropogénicos (EEA, 2020). Em algumas regiões, fatores meteorológicos, como a diminuição de eventos de precipitação, ocorrência de secas prolongadas, e existência de fenómenos meteorológicos extremos, tornam-se agravantes da problemática da escassez de água (APA, 2019).

Devido a estas ocorrências, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que cerca de 2 mil milhões de pessoas utilizam água de fontes comprometidas, sendo que se podem verificar claras diferenças geográficas, socioculturais e económicas entre as pessoas que estão nesta situação e as que têm acesso a fontes de água de qualidade (OMS, 2022).

Tendo em conta estes dados, estratégias para a preservação, manutenção e uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis são cruciais para assegurar a continuidade da disponibilidade de água potável, no futuro. Uma estratégia possível é a utilização de águas residuais, pós-tratamento, de forma a aproveitar um recurso que seria desperdiçado, tal como diminuir as pressões hídricas existentes nos atuais pontos de exploração de água, nomeadamente rios, lagos e aquíferos contribuindo, para o uso sustentável dos recursos hídricos do planeta, salvaguardando o uso sustentável, e preservando as fontes para o futuro.

Atualmente, a reutilização de água é uma prática observada, cada vez mais recorrentemente, principalmente a nível de rega agrícola, usos urbanos, e, em casos excecionais, usos potáveis (APA, 2019), mas para tal, há uma necessidade de garantir a sua qualidade, de modo a evitar impactos indesejados no ambiente, e na saúde humana. Assim, deve haver uma abordagem que se adequa ao contexto geográfico, e que integre avaliações de risco, de modo a contemplar um uso sustentável da água, com efeitos positivos, para o ambiente, e para o ser humano.

Neste sentido, surge a motivação para a elaboração deste projeto, e a dissertação de mestrado associada ao mesmo.

1.2. Objetivos e âmbito da dissertação

Esta dissertação enquadra-se no âmbito do Mestrado Bolonha em Engenharia do Ambiente do Instituto Superior Técnico, onde se propôs um estudo para determinar a oportunidade de se criar um sistema circular de utilização de água, para o Complexo Químico de Estarreja, tendo como fonte de água tratada na estação de tratamento de águas residuais (ETAR), localizada na freguesia de Cacia, concelho de Aveiro, ora descarregada no oceano.

Sendo assim, os vários objetivos a serem cumpridos por esta dissertação são os seguintes:

- Dimensionamento de um sistema de abastecimento de águas residuais tratadas, tendo origem na ETAR de Cacia e como destino final o Complexo Químico de Estarreja;
- Identificação do investimento base em equipamento associado à construção, implementação e funcionamento do sistema de abastecimento de águas residuais tratadas;
- Determinação da importância ambiental de criação de projetos de recirculação de água, assim como o alinhamento deste projeto com diretrizes nacionais, europeias e globais;

1.3. Estrutura da Dissertação

De forma a contemplar todo o processo desenvolvido ao longo da elaboração desta dissertação, a mesma encontra-se dividida em cinco capítulos.

No capítulo atual, primeiro capítulo “Introdução”, é feito um enquadramento do trabalho, salientando a sua motivação e os principais objetivos, contextualizando a área em que o trabalho se insere.

No segundo capítulo, “Estado da Arte”, é elaborada uma revisão bibliográfica onde são abordados vários temas associados aos objetivos da dissertação, fornecendo assim uma informação mais detalhada dos conceitos fundamentais associados à água como recurso, e aos vários processos existentes que a visam proteger, recuperar e utilizar de forma sustentável.

O terceiro capítulo, “Métodos”, consiste na descrição da metodologia utilizada na parte experimental desta dissertação. Assim, foca-se em fornecer informação relativa aos cálculos de dimensionamento do sistema de abastecimento de águas residuais tratadas e de obtenção da estimativa de investimento financeiro associada, assim como os critérios utilizados para substanciar a compatibilidade do projeto com as diversas diretrizes nacionais e europeias associadas à implementação de um projeto como este.

O quarto capítulo, “Resultados e Discussão”, consiste na apresentação e análise dos resultados obtidos nas várias fases descritas no capítulo anterior. Tem como início a apresentação do dimensionamento do sistema de abastecimento de água, assim como a análise financeira do mesmo, seguindo-se da avaliação da viabilidade de implementação do projeto. Este capítulo termina com o alinhamento do projeto com várias diretivas e programas, contemporâneos e futuros, fornecendo assim uma justificação ambiental e social para a sua implementação.

Por fim, no quinto capítulo “Conclusão”, é feito um balanço final do trabalho realizado, determinando as respostas aos objetivos propostos no primeiro capítulo, sugerindo recomendações para ações futuras baseadas na informação e resultados obtidos no capítulo anterior.

2. Estado da Arte

2.1. Água

A água é um composto inorgânico que compõe a maior parte da hidrosfera terrestre e os fluidos que fazem parte de todos os organismos do planeta.

Dependendo das condições de pressão e temperatura, pode existir sobre a forma de vapor de água (um componente de percentagem vestigial na atmosfera), sobre a forma de água líquida (cobrindo cerca de 71% da superfície terrestre) ou sobre a forma de gelo (água sólida que representa cerca de 69% da água potável existente no planeta, estando presente, maioritariamente, sobre a forma de glaciares e calotas polares) (USGS, 2019).

A existência de água é essencial para as funções biológicas dos seres vivos, funcionando como solvente e dissolvendo nutrientes necessários à subsistência dos mesmos, e tendo também a função de mecanismo de transporte desses nutrientes. Por outro lado, a água pode também facilitar outras funções importantes para a vida, tais como regulação da temperatura dos seres vivos, mecanismo de expulsão de toxinas (através de transpiração e urina), e facilitação do metabolismo (Mayo Clinic Health System, 2022).

Para além da sua importância biológica, a existência de água é essencial para os vários setores de atividade humana, e consequentemente para a sua subsistência. No caso do setor primário, a água é necessária para rega de campos agrícolas, assim como para a manutenção de gado. Relativamente ao setor secundário, dependendo do tipo de indústria, a água pode ser utilizada como reagente, ser um produto resultante, ou ter funções de regulação da temperatura do sistema, assim como utilização em processos de manutenção e limpeza (EPA, 2022). As metodologias convencionais de saneamento preconizam o transporte de excreções com água potável observando-se uma tendência para o desenvolvimento de alternativas, como o recurso a águas ditas cinzentas ou a separação entre as fases líquidas e sólida (Wald, 2022).

Devido à sua elevada importância, e extrema versatilidade, a exploração de fontes de água potável tornou-se uma prática imprescindível não só para assegurar a continuação das atividades humanas, mas também a progressão tecnológica associada às mesmas.

O ser humano obtém água potável, maioritariamente de fontes superficiais (rios e lagos) ou subterrâneas (aquíferos) (EEA, 2020). Devido à sua existência limitada, a contínua exploração dos recursos hídricos existentes na natureza leva a fenómenos de sobre-exploração dos recursos existentes, ou seja, a remoção de água a um ritmo superior ao ritmo de reposição da mesma. Esta sobre-exploração é responsável por vários problemas:

- A sobre-exploração de uma fonte de água pode levar à redução da sua capacidade de utilização, ou até mesmo a um nível de seca que torne a fonte hídrica inutilizável. Por outro lado, havendo uma incapacidade de aproveitamento de uma fonte hídrica, leva à aquisição de água através do transporte da mesma, de outra fonte, estando este processo associado a

poluição devido ao transporte, assim como ao aumento de pressões hídras em outras localizações (EEA, 2020).

- Também devido ao uso excessivo de água, a reposição e recarga de água de reservatórios hídricos que se encontram a jusante do local de extração, é ameaçada, e havendo uma diminuição na capacidade de regeneração de água num reservatório, este encontra-se mais sensível a extrações, e com uma maior probabilidade de esgotamento.
- Os ecossistemas dependentes ou altamente associados a fontes de água potável, como rios, lagos, zonas húmidas até aquíferos, tornam-se instáveis ao haver uma utilização insustentável dos recursos hídricos existentes, levando a ameaças à manutenção do ecossistema.
- No caso específico de aquíferos existentes em zonas costeiras (um caso de elevada recorrência e relevância em Portugal), a intrusão salina nos aquíferos costeiros leva à degradação dos mesmos e tornando a água do aquífero imprópria para consumo ou utilização. Este fenómeno acontece naturalmente devido à elevada salinidade da água do mar, sendo esta mais densa que a água existente no aquífero, e por isso ter uma maior pressão associada, podendo-se, desta forma, infiltrar no aquífero. Por outro lado, a existência de poços e bombagens de água em zonas costeiras, diminuem o nível da água no aquífero, reduzindo a pressão da coluna de água frescas, permitindo a intrusão lateral de água salina, como exemplificado na Figura 1 (Barlow & Reichard, 2010). Foram efetuados estudos na região do baixo Bouga lagunar (que contempla a ria de Aveiro), e foram detetados indícios de intrusão salina nos seus aquíferos, e conseqüentemente, nos seus solos agrícolas, sendo esta uma problemática de especial relevância para a região (Melo, 2018).

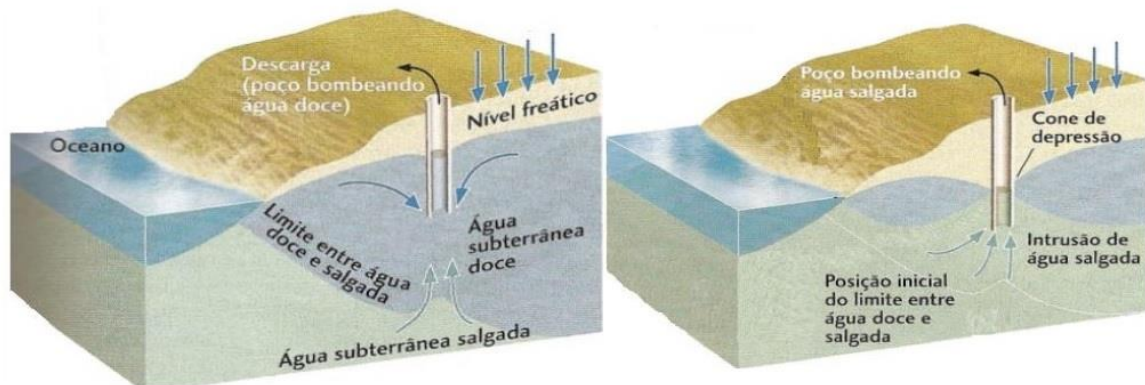


Figura 1 - Diagrama esquemático do processo de intrusão salina, num aquífero costeiro, devido à existência de bombagens de água de um poço (Rech, 2021).

Para além dos problemas associados à sobre-exploração de água, as fontes de água potável apresentam-se ameaçadas devido a outros fatores com origem antropogénica ou natural, como a poluição devido a descargas com químicos de produção industrial, utilização de fertilizantes químicos e/ou pesticidas em práticas agrícolas ou simples conservação de espaços verdes, que podem causar eutrofização do meio recetor (Doster & Zitomer, 2020), descargas de águas residuais indevidamente

tratadas, e o aquecimento global, que ao aquecer a água, reduz o seu conteúdo em oxigênio (Iberdrola, 2022).

Dada a fragilidade dos recursos hídricos à disposição do ser humano, e a importância que estes recursos têm para a vida e atividade humana, assegurar a manutenção dos mesmos, assim como encorajar boas práticas, é essencial a assegurar uma continuidade da disponibilidade de água potável. Desta forma, várias entidades, globais e nacionais, vêm definindo objetivos a atingir e promovem diretrizes para a proteção dos recursos hídricos mundiais. Por exemplo, a Organização das Nações Unidas (ONU) definiu como Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS), “*Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água, e o saneamento para todos*” (ODS, 2015), promovendo diretrizes, ações e indicadores que possibilitam a todos os países associados, gerir os seus recursos hídricos e promover um futuro em que as pressões hídricas possam ser controladas e em que todos os seres humanos tenham água potável à sua disposição.

2.1.1. ODS 6 – Água potável e saneamento

Os ODS, inseridos na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da ONU, constituem alvos a atingir de modo a promover um futuro sustentável a nível ambiental, económico e social (UN, 2015). Esta sustentabilidade assenta sob o “*fim da pobreza global, a prosperidade e o bem-estar de todos, a proteção do ambiente e o combate às alterações climáticas*”.

O ODS 6 – Água potável e saneamento, contempla os temas de disponibilidade de água e gestão responsável da mesma, de modo que se possam assegurar fontes de água potável a nível global, e saneamento para todos. Para tal, são definidos subobjetivos que visam compartimentalizar as ações tomadas, de modo a atingir o objetivo global (ODS, 2015):

- Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos.
- Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles que estão em situação de vulnerabilidade.
- Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a libertação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo para metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e a reutilização, a nível global.
- Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência no uso da água em todos os setores e assegurar extrações sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água.
- Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos, a todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado.
- Até 2030, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas húmidas, rios, aquíferos e lagos.

- Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados com a água e o saneamento, incluindo extração de água, dessalinização, eficiência no uso da água, tratamento de efluentes, reciclagem e tecnologias de reutilização.
- Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento.

Estes subobjetivos visam especificar as ações a serem tomadas pelos estados-membros, em legislação e elaboração de planos e programas de gestão hídrica, a nível nacional.

2.1.2. Relatório Europeu do Estado do Ambiente (REA)

O Relatório do Estado do Ambiente (REA), elaborado pela Agência Europeia do Ambiente (AEA), apresenta progresso da sustentabilidade europeia, e propõe medidas para o melhoramento do estado do ambiente, em cada país, promovendo uma União Europeia (UE) mais sustentável (EEA, 2020).

Com esse efeito, começa por definir o contexto e tendências ambientais, existente na Europa, através de informações obtidas pelos estados-membros, assim como de organizações ambientais. Analisa as políticas implementadas, dentro de cada estado-membro, e as tendências específicas das dez temáticas de ação ambiental, definidas pela AEA Tabela 1:

Tabela 1 - Temáticas de ação ambiental, definidas pela AEA, no REA

Biodiversidade e natureza	Água
Solo	Ambiente marinho
Alterações climáticas	Poluição do ar
Resíduos e recursos numa economia circular	Poluição química
Ruído	Poluição Industrial

Estas temáticas são analisadas a nível de setores de atividade e pressões ambientais, sendo descritas através de uma lente sistemática na terceira parte, identificando os desafios associados à sustentabilidade e propor medidas que lhes deem resposta a esses desafios, sendo essas propostas apresentadas na parte final do relatório.

Relativamente à temática da água, para a qual é relevante, o projeto apresentado, o REA demonstra a relação entre atividades humanas, as pressões hídricas causadas pelas mesmas, os serviços de ecossistema, e os objetivos de políticas, associadas. Deste modo, é demonstrado o impacto antropogénico, no domínio hídrico, exemplificando de que modo o ser humano intervêm na

sustentabilidade dos recursos hídricos, e de que forma é que se podem definir políticas, e ações associadas, para promover a sustentabilidade da água na UE.

Os objetivos das ações a serem tomadas estão divididos em quatro setores: Ecossistemas aquáticos e zonas húmidas; Pressões hidromorfológicas; Pressões de poluição da água e relação com a saúde humana; e Captações de água e a sua pressão em águas superficiais e subterrâneas.

2.1.3. Diretiva Quadro da água

A Diretiva Quadro da Água (DQA) (Diretiva 2000/60/CE), estabelece o enquadramento de ações tomadas para a gestão das águas superficiais (Parlamento Europeu, 2000). Para tal, define os seguintes objetivos:

- Objetivo a) - Evitar a continuação da degradação e proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos e também dos ecossistemas terrestres e zonas húmidas diretamente dependentes dos ecossistemas aquáticos, no que respeita às suas necessidades de água;
- Objetivo b) - Promover uma utilização sustentável de água, baseada numa proteção a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis;
- Objetivo c) - Obter uma proteção reforçada e um melhoramento do ambiente aquático, nomeadamente através de medidas específicas para a redução gradual e a cessação ou eliminação por fases das descargas, das emissões e perdas de substâncias prioritárias;
- Objetivo d) - Assegurar a redução gradual da poluição das águas subterrâneas e evitar o agravamento da sua poluição;
- Objetivo e) - Mitigar os efeitos das inundações e das secas;

Com o objetivo de cumprir estes objetivos, propõe ações, a ser implementadas, de modo a promover uma melhor gestão dos recursos hídricos. Para tal, integra uma identificação e coordenação das disposições administrativas das regiões hidrográficas, define objetivos ambientais, dentro das regiões previamente definidas, e assegura a necessidade da elaboração de planos hidrográficos associados às regiões definidas previamente, contando também com análises impacto ambiental e análises económicas da utilização da água, de modo que haja sintonia entre os objetivos definidos nos planos, e os objetivos ambientais definidos previamente. A elaboração dos planos e programas, assim como as análises associadas, integra também a necessidade de haver monitorização e auditorias ao cumprimento dos mesmos, de modo a assegurar que as ações tomadas são compatíveis com os objetivos definidos.

2.1.4. Plano de Gestão de Bacia Hidrográfica (PGBH) dos rios Vouga, Mondego e Lis

O PGBH dos rios Vouga, Mondego e Lis, pertencentes à região hidrográfica 4, como definido ao abrigo da DQA, planifica e identifica problemas e oportunidades existentes na região hidrográfica, define objetivos estratégicos e ambientais, de acordo com a Lei das Águas, para agir sob os seus problemas e oportunidades, e propõe medidas, organizadas em programas, para agir em concordância com os

objetivos definidos (Ribeiro, 2012). As medidas propostas e/ou implementadas têm como objetivo a gestão, proteção e valorização ambiental, económica e social das águas da região.

Inicialmente são apresentadas as ameaças existentes na região hidrográfica, assim como as oportunidades existentes para a exploração da mesma, assim como para a resolução das ameaças existentes. O Anexo A consiste na tabela, incluída no PGBH, que descreve, na sua totalidade, os problemas e oportunidades identificadas no mesmo.

Considerado o projeto apresentado, as problemáticas mais relevantes contemplam as alterações biofísicas dos habitats estuarinos, resultantes da extração obras hidráulicas; artificialização das linhas de água, perda de biodiversidade associada à intervenção nos caudais, e alteração aos regimes hídricos naturais.

Por outro lado, as oportunidades de ação que devem ser notadas incluem a oportunidade de promover a gestão dos recursos hídricos associada à gestão de paisagens, e implementação de sistemas para o uso sustentável da água.

Seguidamente, são descritos os objetivos associados à elaboração do PGBH. Estes objetivos dividem-se em objetivos estratégicos (resultantes da análise integrada de vários planos, programas e estratégias), ambientais (estipulados na DQA), e adicionais (que visam assegurar a mitigação dos efeitos de inundações e secas. Os Anexos B, C, D contemplam as tabelas correspondentes aos objetivos estratégicos, ambientais e adicionais, correspondentemente, sob os quais as ações propostas serão tomadas. Desta forma, são planificadas as áreas temáticas, correspondentes a cada setor de ação, de modo a promover eficiência e eficácia nas ações.

Tendo identificadas as áreas de ação, assim como os objetivos a ser atingidos, dentro de cada área, o PGBH define um programa de medidas, que guiam mais especificamente as ações a ser tomadas. Deste modo define medidas base (correspondendo a atingir os requisitos mínimos para cumprir os objetivos ambientais, ao abrigo da Lei das Águas), suplementares (correspondendo a garantir uma proteção adicional das águas da região hidrográfica) e adicionais (Ribeiro, 2012).

Estas medidas estão distribuídas em 10 programas operacionais, sendo estes:

- REDUZIR-TOP: que visa a redução da contaminação tóxica, focando-se na otimização dos sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais;
- REDUZIR-DIF: que visa a redução de contaminação difusa, tendo como objetivo melhorar as práticas agrícolas, de pecuária e exploração do solo, assim como o controlo da utilização de fertilizantes e pesticidas;
- PREVENIR: que visa a prevenção ou redução do impacte de poluição accidental, riscos de cheias e inundações, de secas e de rotura de infraestruturas hidráulicas;
- SENSIBILIZAR: que visa a elaboração e aplicação de códigos de boas práticas e projetos educativos;
- PROTEGER: que visa a proteção das massas de água, definição de critérios de classificação de massas de água, revisão de licenças e das autorizações relevantes, condicionamento de

utilizações, focando-se na proteção das captações de água na região, na monitorização das massas de água em risco, implementação e monitorização de caudais ecológicos, e controlo de espécies invasoras.

- CONHECER: que visa a projetos de investigação, desenvolvimento e demonstração, estudos integrados de qualidade e reforço da monitorização;
- RACIONALIZAR: que visa o uso eficiente da água e recuperação de custos;
- ORGANIZAR: que visa a capacitação e ações administrativas, económicas e fiscais;
- PREPARAR: que visa projetos de reabilitação e projetos de obras para garantir o abastecimento de água para os diferentes usos;
- REQUALIFICAR: que visa a requalificação hidromorfológica, contando com ações como a restauração ecológica, reabilitação da rede hidrográfica, melhoria da condutividade estuarina e ações de desassoreamento.

Está também descrito no PGBH, elaborado em 2012 com validade até 2025 (Parlamento Europeu, 2000), possíveis fontes de financiamento, de modo a facilitar a implementação das medidas descritas acima. Considerando o elevado custo associado a projetos de otimização tecnológica, estudos investigativos, reabilitação de zonas sensíveis, e todas as outras ações mencionadas, o acesso a fundos, nacionais e europeus, pode facilitar a aprovação das medidas propostas.

A nível nacional, o Fundo Ambiental (DRE, 2016), que se destina a financiar iniciativas que contribuam para ações que promovem melhorias ambientais, tais como a utilização racional e considerada dos recursos hídricos de uma região, assim como a proteção dos mesmos, constitui eventual fonte de cofinanciamento para estes projetos.

A nível europeu, existe a possibilidade de acesso ao Fundo de Coesão (Comissão Europeia, 2021), que visa reduzir as disparidades económicas dentro da União Europeia, contando com apoios a projetos associados a infraestrutura de transportes e projetos com foco na sustentabilidade ambiental ; e ao Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) (Comissão Europeia, 2022) que contribui para o reforço da coesão económica e social da União Europeia.

2.2. Águas Residuais

Águas residuais refere-se à água pós-utilização, seja esta de origem doméstica, industrial, pluvial ou proveniente de outros sectores tais como o sector da saúde. Desta forma, a sua composição é largamente variável e dependente da sua origem, podendo ter como componentes, matéria orgânica e inorgânica, assim como microrganismos. Assim, o controlo e tratamento de águas residuais tornaram-se processos essenciais para evitar a poluição do meio recetor. Em geral, águas residuais são encaminhadas para estações de tratamento que, dependendo da composição esperada, apresentam processos de tratamento adequados para remover os poluentes existentes na água, de forma que esta possa ser descarregada, de forma segura e ambientalmente responsável, no seu destino final, seja este o oceano, lagos ou rios (Britannica, 2022).

Por outro lado, devido à elevada percentagem de águas residuais, utilizadas no transporte de poluentes, estas apresentam-se também como recurso, e não apenas como um produto de atividades. O tratamento e purificação de águas residuais permitirá a, recuperação de um recurso altamente valioso e com elevada utilidade, e dada a crescente escassez de água, este processo torna-se mais concreto e aplicável (Ambulkar, 2015).

2.2.1. Águas residuais industriais

Águas residuais industriais correspondem a águas geradas em pequenas fábricas e parques industriais, devido à utilização de água em processos de produção industrial e/ou manutenção e limpeza dos equipamentos.

Os compostos que mais recorrentemente estão associados a águas residuais industriais são de origem química, e a elevada variedade de ações do setor industrial, origina uma correspondente elevada variedade e especificidade de compostos químicos associados às águas residuais (Veolia, 2022).

As indústrias e empresas na região de Estarreja beneficiam da possibilidade de descarga dos seus efluentes para o coletor municipal, desde que as características estejam conformes o regulamento de descarga assinado entre as partes e que via assegurar que a ETAR de Cacia possui os meios para efetuar o respetivo tratamento, antes da descarga no oceano (DRE, 2018).

2.3. Tratamento de Águas Residuais

O tratamento de águas residuais corresponde à redução e/ou remoção, de compostos considerados poluentes, tóxicos ou patogénos de águas residuais. Tendo em conta, que estas podem ter origem doméstica, industrial ou pluvial, a sua combinação requer que o respetivo o tratamento seja abrangente e adequado aos poluentes existentes.

O tratamento de águas residuais consiste, na sua maioria em duas fases, podendo estas ser combinadas, ou adicionada uma terceira fase, de modo a providenciar um nível tratamento de água mais elevado.

O tratamento primário consiste na remoção de sólidos suspensos na água residual. Esta remoção é feita através de processos de origem física e química implementados sequencialmente, sendo os principais, (Monte et al., 2016):

- Gradagem – passagem de água por um gradeamento que remove sólidos de largas dimensões.
- Tamisagem – remoção de sólidos, de menor dimensão, através da passagem da água por uma peneira(Águas do Tejo Atlântico, 2022).
- Desarenamento – remoção de areias, de águas residuais, através de processos de sedimentação.
- Desengorduramento – raspagem de gorduras existentes na superfície de águas residuais.
- Floculação - formação de flocos de partículas coloidais, por adição de agentes floculantes (ChemReady, 2022).

- Coagulação - agregação de partículas em suspensão, por manipulação da carga electrostática das mesmas (Dober, 2022).

O tratamento secundário foca-se na remoção de matéria orgânica dissolvida, nutrientes e sólidos suspensos que escapam ao tratamento primário, maioritariamente através de processos biológicos, utilizando microrganismos em suspensão, ditos de lamas ativadas. Estes microrganismos adsorvem a carga orgânica existente nas águas residuais e estabilizam-na através de processos de metabolismo aeróbico, produzindo água e dióxido de carbono, amónia, novas células e biosólidos posteriormente separados da fase líquida e estabilizados. Os processos mais comuns, recorrem a sistemas de lamas ativadas com células em suspensão e recirculação das mesmas, em condições aeróbias, anóxicas e ou anaeróbias cuja combinação permite a oxidação da matéria orgânica biodegradável e dos compostos azotados a nitratos sendo estes reduzidos a azoto molecular em condições anóxicas. Estes sistemas são energeticamente intensivos devido à necessidade de mistura e arejamento mecânico, turbinas, ou por injeção ar comprimido. Em processos mais avançados uma etapa anaeróbia inicial permite iniciar o processo de remoção de fósforo e a transformação da matéria orgânica biodegradável em ácidos orgânicos necessários à etapa de redução biológica dos nitratos. Sistemas mais simples como os filtros de percolação recorrem a microrganismos sob a forma de filmes biológicos formados sobre um suporte fixo de gravilha ou materiais plásticos que encham o reator e por onde percola o efluente, sendo o arejamento promovido por convecção do ar ambiente para o interior do filtro. A digestão anaeróbica ou aeróbica são ainda algumas das etapas necessárias ao processamento das lamas em excesso (biosólidos formados de novo), separadas por sedimentação da fase líquida na etapa secundária e também das lamas primárias (Monte et al., 2016). A intensificação destes processos vem passando pela utilização de:

- Biorreatores de membrana (MBR) – processo em que um sistema de lamas ativadas é combinado com membranas de filtração, aumentando a cinética do processo e diminuindo a quantidade de lamas, em excesso, a processar
- Reactores com biofilme em leito móvel (MBBR) – processo em que o biofilme cresce em superfícies de plástico suspensas e em circulação, num tanque de arejado.

Todos os processos mencionados requerem uma etapa final de desinfecção para descarga em linha de água, mas ainda com exceção para a descarga em emissários submarinos no mar.

O tratamento terciário de águas residuais consiste no aprimoramento da qualidade da água, para atingir níveis desejados em certos compostos. Embora a descarga de águas residuais pós tratamento secundário possa ser considerado, na sua maioria, segura para o meio recetor, para atingir requisitos específicos, podem-se realizar tratamentos adicionais. Esta fase de tratamento é considerada bastante importante quando se considera a possibilidade de reutilização de águas residuais pós tratamento, pois dependendo do uso futuro, e das diretrizes legais associadas às mesmas, a composição das águas deve estar enquadrada dentro dos limites legais definidos, e distintos dos anteriores.

Desta forma, os tratamentos terciários, podem ser extensões de processos existentes no tratamento secundário, ou requerer a implementação de novos processos, tais como processos de separação

físico-química (como em adsorção de carbono ativado de compostos recalcitrantes), filtrações com utilização de membranas com diversos diâmetros de porosidade, desde a micro (10 – 0,1µm), ultra(0,1 – 0,01 µm) e/ou nano filtração (0,01 – 0,001 µm) a osmose inversa (< 0,001 µm) , dependendo das partículas e sais dissolvidos que existam no efluente, complementados por processos de desinfecção do efluente (tais como ozonização ou radiação ultravioleta) (Bassin et al., 2021).

2.3.1. Tratamento de águas residuais industriais

O tratamento de águas residuais industriais, representa um desafio essencial para assegurar a libertação segura e ambientalmente consciente, de efluentes tratados, de origem industrial.

O tratamento de efluentes industriais pode ocorrer em ETAR dedicadas ou centralizadas onde diferentes efluentes afluem, desde que esteja previamente assegurada a sua compatibilidade com o efluente doméstico e a capacidade da ETAR. Devido à variação na composição dos caudais, ao longo do tempo, por vezes existem tanques de equalização a montante dos principais órgãos da ETAR para amortecimento dessas oscilações

O tratamento de águas residuais industriais *in situ*, pode também originar outros benefícios, tais como a produção de água reutilizável no processo e redução da utilização de outras fontes de água, devido à redução ou eliminação da existência de contaminantes (Veolia, 2022).

2.4. Recirculação de águas residuais

O processo de recirculação de águas residuais ("*water reclamation*"), refere-se à reintrodução de águas residuais, pós tratamento, em sistemas de utilização humana, no setor primário (águas para efeitos de rega agrícola), secundário (utilização de água para processos de produção e/ou manutenção industrial), ou para consumo humano, assegurando a qualidade necessária para o seu uso (Wang & Wang, 2018).

Havendo uma reutilização de água, é promovido um ciclo fechado ou semifechado da sua utilização, diminuindo o volume de água captada em diversas fontes hídricas e as pressões hidrológicas associadas a essas captações. Por outro lado, devido à diminuição do volume de descargas de águas residuais e à necessidade de a reutilizar, ocorre uma diminuição da poluição advinda de um melhor controlo do processo. Desta forma, este processo pode significativamente diminuir as pressões hidrológicas de uma região, assim como ajudar a combater a poluição da água e dos solos, sendo um processo com elevado potencial para promover a sustentabilidade da água como recurso, e cumprir diretivas e atingir objetivos internacionais e nacionais, tais como a DQA e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (APA, 2019).

A recirculação de água pós tratamento, exige que o respetivo observe o cumprimento de critérios específicos exigíveis à qualidade de água, definidos por legislação, ou, em falta da mesma, pelos critérios necessários para o bom funcionamento do setor recetor. Desta forma, um aumento do recurso à reutilização será inevitavelmente acompanhado de melhorias e/ou otimizações na indústria do tratamento de águas residuais, sendo esperado um aumento no valor total de investimentos. Os programas que contemplam a recirculação de águas residuais pós tratamento, são muitas vezes

dependentes de financiamento governamental, para se tornarem competitivos quando comparados com a opção predefinida, de captação em fontes diversas. Adicionalmente, os sistemas de drenagem contemplam essencialmente escoamento gravítico com a generalidade das ETAR localizada em pontos de baixa elevação, sendo também necessário considerar que um sistema de recirculação de água terá custos energéticos associados, devido à necessidade de implementação de estações elevatórias de permitam o escoamento da água, a partir de um ponto de baixa cota, sendo este também o caso para cenários que contemplem captação costeira de água dessalinização.

Outro fator a ser considerado, na implementação de um projeto de recirculação de água, é a saúde pública. Havendo a necessidade de reduzir a concentração de patógenos, existe a necessidade de assegurar características exigíveis ao contacto com o ser humano. Deste modo, o uso de águas residuais pós tratamento pode ser limitado, sendo na sua maioria utilizado em rega agrícola, espaços verdes e processos industriais, sendo que, em grande parte, um tratamento secundário das águas residuais tende a ser suficiente para atingir as especificações necessárias para este processo.

Um exemplo de sucesso, de um projeto de recirculação de água, é a Estação de Reutilização de Água de Camp de Tarragona, em Espanha, que utiliza águas residuais tratadas, provenientes das ETAR de Tarragona e Vilaseca-Salou, para abastecer o Complexo Petroquímico Industrial, substituindo a fonte de água prévia, o rio Ebro. O caudal de água recirculada, em 2014, correspondia a 19 000 m³/dia, existindo planos de expansão para produzir até 55 000 m³/dia, sendo esta água maioritariamente utilizada para arrefecimento e como recurso para os processos industriais existentes (Sanz et al., 2015).

De modo a obter a qualidade necessária para os processos industriais, é aplicado um tratamento adicional, proprietário da empresa Veolia, consistindo nos seguintes passos (Parada et al., 2021; Sanz et al., 2015):

1. Primeiramente é implementado o processo ACTIFLO® Disc, constituído por uma primeira fase de clarificação através de um processo de floculação balastrada com micro areias, seguindo de um tamiz cilíndrico com *microscreens*.
2. Segue-se a aplicação de uma microfiltração, composta por sistemas proprietários *Hydrotech*, que consiste em sistemas compactos, de dez microfiltros.
3. Após a microfiltração, a água passa para uma filtração bifásica, constituída por uma fase gravítica e uma fase sob pressão. Após esta fase, a água está com qualidade necessária para ser submetida a uma osmose inversa.
4. Realiza-se então um processo de osmose inversa, de dupla passagem, em que a eficiência de remoção superior a 99%, de fácil manutenção, com recirculação de concentrado, posterior à segunda passagem
5. Finalmente, realiza-se uma desinfecção por radiação ultravioleta e adição de hipoclorito de sódio.

Este projeto foi também cofinanciado pelo Fundo de Coesão, que participou com 85% dos fundos necessários para a construção do mesmo.

2.4.1. Legislação Nacional

A nível nacional, a produção e utilização de água para reutilização, a partir águas residuais tratadas, para usos urbanos, agrícolas, paisagísticos e industriais, estão legisladas sob o Decreto-Lei nº119/2019, de 21 de agosto (DRE, 2019). Esta legislação exclui a reutilização de água proveniente de águas residuais pós tratamento, para efeitos de reciclagem de água, caso esta ocorra em circuito fechado, e o consumo potável.

Deste modo, é definida a necessidade de emissão de licenças de produção e utilização de águas para reutilização (ApR), por parte da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), estando as licenças sujeitas a uma avaliação de risco prévia. Esta avaliação de risco responsabiliza-se por identificar os perigos associados aos recetores das ApR, as vias de exposição a esses perigos e a caracterização dos riscos através de métodos quantitativos ou qualitativos, de modo a propor normas de qualidade das ApR e promover a capacidade de gerir o risco de utilização das mesmas, identificando medidas de minimização e/ou eliminação dos mesmos. Assim, pode-se tomar como exemplo o seguinte procedimento para uma avaliação de risco, relativa à produção e utilização de ApR (APA, 2019):

- Identificação dos perigos:
 - Características das águas residuais:
 - Domésticas;
 - Urbanas;
 - Industriais sem substâncias prioritárias ou poluentes específicos;
 - Industriais com substâncias prioritárias ou poluentes específicos.
 - Atribuição de fatores de risco a cada perigo:
 - Domésticas – Risco aceitável;
 - Urbanas e/ou industriais sem substâncias prioritárias/poluentes específicos – Risco intermédio;
 - Urbanas e/ou industriais com substâncias prioritárias/poluentes específicos – Risco inaceitável.
- Caracterização das vias de exposição e recetores:
 - Determinação do fator de risco associado a cada perigo, considerando características hidrogeológicas e/ou hidrológicas;
 - Determinação do fator de risco associado a cada perigo, considerando a proximidade ao ponto de captação e utilização;
- Análise qualitativa e/ou quantitativa de cada perigo, associado às características da água, e determinação do risco associado, determinando limiares que definam se os perigos descritos se sobrepõem aos benefícios de implementação do projeto.

Assim, definem-se dois tipos de licenças de produção de ApR:

- Licenças de produção de ApR atribuída a sistemas centralizados (“sistemas de tratamento de águas residuais urbanas, geridos por uma única entidade gestora”) – a licença de produção de

ApR associada a sistemas centralizados inclui a produção, uso próprio e cedência a terceiros, de ApR.

- Licenças de produção de ApR atribuída a sistemas descentralizados (“sistemas coletivos ou particulares, geridos por uma entidade coletiva ou particular”) – a licença de produção de ApR associada a sistemas descentralizados inclui a produção e uso próprio de ApR.

Estas licenças devem também incluir condições relativas ao fornecimento, requisitos técnico e programas de monitorização das ApR utilizadas e/ou fornecidas. Em caso de licenças de produção de ApR atribuídas a sistemas centralizados, a cedência das mesmas deve ser feita com a condição de obtenção de licença de utilização de ApR, por parte do recetor.

Por outro lado, as licenças de utilização de ApR permite a utilização de ApR produzidas por sistemas centralizados.

Para assegurar a segurança e boa qualidade da ApR produzida e utilizada, a legislação define normas de qualidade mínima, dependendo do tipo de uso futuro da ApR. Os Anexos E, F, e G apresentam as tabelas de qualidade da água, assim como os níveis de tratamento mínimo, para a utilização de ApR para uso de rega, urbano e industrial.

2.5. Zonas ambientalmente sensíveis

Uma zona ambientalmente sensível, como definida pela AEA, consiste numa região onde, devido ao seu elevado nível de vulnerabilidade, podem ser tomadas medidas que visam proteger os habitats naturais (EEA, 2000). Estas medidas podem incluir legislação, tanto a nível nacional como europeu, assim como a integração de essas regiões em planos que contemplem a proteção e sustentabilidade das mesmas.

Por outro lado, zonas ambientalmente sensíveis providenciam uma elevada diversidade de serviços de ecossistema, benéficos ao ser humano, variando entre serviços de conservação da biodiversidade, a serviços culturais e de património (ecoturismo, espaço lúdicos), e serviços de provisionamento e regulação (purificação do ar, polinização e dispersão de sementes, sequestro de carbono, regulação de temperatura, proteção do solo e aquíferos, entre outros) (Protect ESA's now, 2009).

2.5.1. Proteção de zonas ambientalmente sensíveis

A proteção de zonas ambientalmente sensíveis visa conservar os patrimónios natural e cultural associados às mesmas, podendo ser realizada através de ações de teor obrigatório (legislação, planos e programas), ou através de uma abordagem opcional que incentive a sua conservação (Land Use Solutions for Colorado, 2022).

Primariamente, deve-se proceder à identificação das áreas sensíveis e de perigo, da região, através de planos compreensivos que possibilitem a priorização da proteção dos mesmos.

Segue-se a atribuição de usos do solo, que designará o tipo de atividades permissíveis, na zona. Deste modo, a planificação dos usos das possíveis zonas sensíveis permitirá a melhor utilização e exploração

das mesmas. Uma área designada de protegida, permite uma menor exploração, densidade populacional e de atividades, e estabelece limites ao seu desenvolvimento antropogénico.

Por outro lado, um fator de extrema importância para a preservação de zonas ambientalmente sensíveis, é a sua manutenção. A constante verificação de existência de fatores de risco, associada à prevenção dos mesmos, permitirá uma menor destabilização da zona.

Adicionalmente, legislação, europeia ou nacional, que vise proteger zonas sensíveis, poderá ser implementada de modo a guiar toda a ação que tenha impacto nas mesmas.

2.5.1.1. Rede Natura 2000

A Rede Natura 2000 constitui uma rede ecológica, para o espaço comunitário da União Europeia. Esta rede surge como resultado da aplicação direta das Diretivas das Aves (Diretiva 2009/147/CE, de 30 de novembro)(Oficial et al., 2009) e dos Habitats (Diretiva 92/43/CEE) (Comissão das Comunidades Europeias, 2004), tendo como objetivo assegurar a manutenção, e conservação, a longo prazo, das espécies e habitats da União Europeia, preservando a biodiversidade e assegurando a futura existência dos ecossistemas abrangidos.

Esta rede é composta por dois tipos diferentes de zonas a ser protegidas (ICNF, 2019):

- Zonas de Proteção Especial (ZPE) – zonas estabelecidas sob a Diretiva das Aves, que se destinam a proteger espécies de aves autóctones, assim como os seus habitats, e também aves migratórias de ocorrência regular.
- Zonas Especiais de Conservação (ZEC) - zonas estabelecidas sob a Diretiva dos Habitats, que se destinam a proteger a biodiversidade do local, através da conservação dos habitats naturais e habitats de espécies de fauna e flora ameaçadas, no espaço da União Europeia. Os tipos de habitats naturais, de interesse comunitário, considerados, dividem-se em 9 categorias, cada uma com diversas subcategorias, sendo as anteriores, as seguintes:
 1. Habitats costeiros e vegetação halófila;
 2. Dunas marítimas e interiores;
 3. Habitats de água doce;
 4. Charnecas e matos de zonas temperadas;
 5. Matos esclerofilos;
 6. Formações herbáceas naturais e seminaturais;
 7. Turfeiras altas, baixas e pântanos;
 8. Habitats rochosos e grutas;
 9. Florestas.

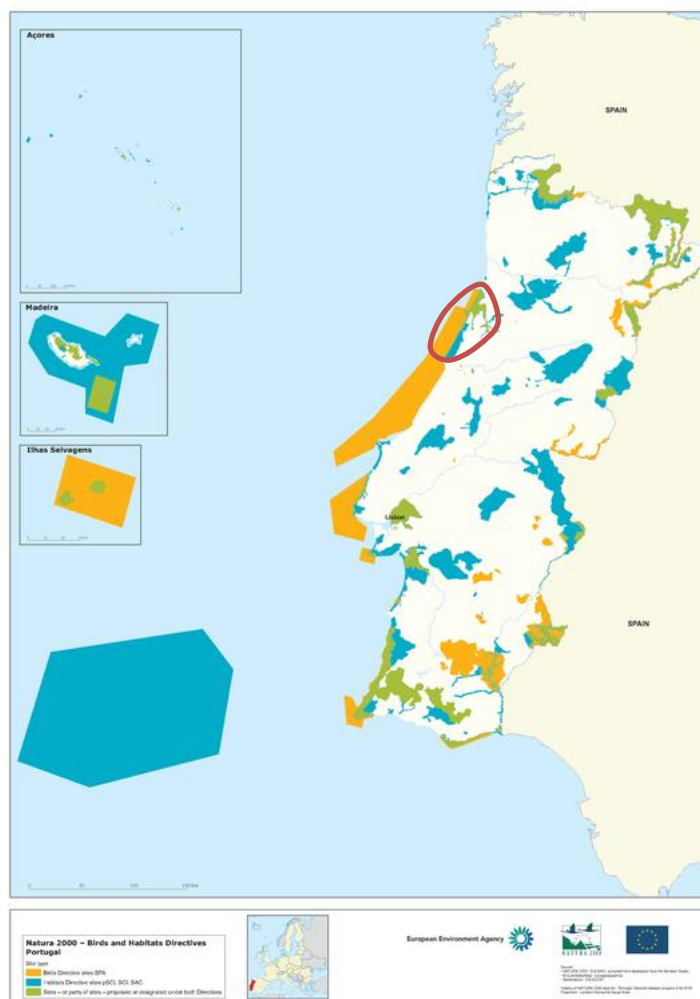


Figura 2 - Zonas abrangidas pela Diretiva das Aves (Laranja), Diretiva dos Habitats (Azul) e ambas (Verde), em Portugal Continental (EEA, 2020a)

A Figura 2 ilustra as zonas abrangidas pela Diretiva das Aves (Laranja), Diretiva dos Habitats (Azul) e ambas (Verde), em Portugal Continental, estando identificada (Vermelho) a região da ria de Aveiro, verificando-se que pertence a zonas protegidas, integrantes da Rede Natura 2000

Ao determinar estas zonas de ação, as ações humanas, registadas nas mesmas, deverão ser compatíveis com a sua preservação, sendo determinados planos de gestão sustentável a nível ecológico, económico e social. Estes planos deverão ter como base, políticas de conservação da natureza a nível agrossilvopastoril, turístico e de obras públicas, devendo-se desenvolver mecanismos para que gestão dos espaços da rede seja feita de forma sustentável e equilibrada.

Em Portugal, as ações de manutenção de zonas pertencentes à Rede Natura 2000, são geridas através do Plano Setorial da Rede Natura 2000 (PSRN2000), enquadrado pelo Decreto-Lei n.º 49/2005 de 24 de abril, que representa um instrumento de gestão territorial que salvaguarda e valoriza os locais abrangidos dentro da rede, e também gere a manutenção das espécies e habitats num estado de

conservação favorável, dentro destas áreas. Desta forma, define orientação estratégicas e vincula as entidades públicas que agem sobre o território.

Devido à necessidade constante, de acompanhamento da implementação das ações propostas pelo PSRN2000, a verificação do cumprimento dos princípios, regras e procedimentos, preconizados pelo mesmo, está sujeita a avaliação, assegurada por uma Comissão de Acompanhamento e Avaliação (CAA), presidida pelo Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) e composta pelas entidades responsáveis pela elaboração do PSRN2000. Deste modo, com o objetivo de avaliar e otimizar a eficácia do PSRN2000, a CAA deve (ICNF, 2017):

- Elaborar o Guia Orientador a adotar, de modo a transpor o PSRN2000 para os Planos Especiais de Ordenamento do Território (PEOT) e Planos Municipais de Ordenamento de Território (PMOT), promovendo a adoção da metodologia estabelecida.
- Verificar a adaptação dos Instrumentos de Gestão Territorial (IGT) às orientações definidas no PSRN2000.
- Pronunciar-se sobre a definição de prioridades e calendários de execução de ações, de elaboração de planos de gestão e outros instrumentos relevantes da Rede Natura 2000.

Considerando que o ordenamento de território é um processo interdisciplinar, a elaboração do Guia Orientador deve ter em conta as vertentes ambiental, económica e social, das ações a desenvolver, de modo a compreender possíveis conflitos de interesse, resolvendo-os em fase de planeamento. Deve também ter em conta o facto do PSRN2000 ter uma natureza genérica e orientadora, cabendo aos PEOT e PMOT, a determinação de ações concretas, embora estas devam sempre ser abrangidas e estar em cumprimento com os objetivos e disposições legais das Diretivas das Aves e dos Habitats.

2.5.1.2. Convenção de Ramsar

A Convenção de Ramsar sobre Zonas Húmidas, de nome proveniente da cidade onde se localizou, constitui um tratado internacional com o objetivo de promover a conservação e uso adequado de zonas húmidas, através de ações de cooperação local, nacional e internacional, de modo a contribuir para um desenvolvimento sustentável das áreas referidas (Secretariado da Convenção de Ramsar, 2015).

Com este objetivo, são definidas como Zonas de Ramsar, zonas húmidas reconhecidas como tendo valor e importância nacional e internacional. Para tal, devem corresponder aos seguintes critérios para a identificação de uma zona húmida, como tendo importância internacional (Ramsar Convention Bureau, 2016):

- Critério 1 - A zona húmida deve ser considerada internacionalmente importante se contém um exemplo representativo, raro ou único, de um tipo natural ou seminatural de zona húmida, tendo em consideração a região biogeográfica apropriada;
- Critério 2 - A zona húmida deve ser considerada internacionalmente importante se contém espécies vulneráveis, em perigo, ou criticamente em perigo, ou comunidades ecológicas ameaçadas;

- Critério 3 - A zona húmida deve ser considerada internacionalmente importante se contém populações de espécies de plantas e/ou animais, com importância relacionada com a manutenção da diversidade biológica de uma região biogeográfica específica;
- Critério 4 - A zona húmida deve ser considerada internacionalmente importante se contém espécies de plantas e/ou animais, em fases críticas dos seus ciclos de vida, ou providenciam refúgio, aquando condições adversas;
- Critério 5 - A zona húmida deve ser considerada internacionalmente importante se contém regularmente 20 000, ou mais, aves aquáticas;
- Critério 6 - A zona húmida deve ser considerada internacionalmente importante se 1% dos indivíduos, numa população, de uma espécie ou subespécie de ave aquática;
- Critério 7 – A zona húmida deve ser considerada internacionalmente importante se contém uma proporção significativa de populações, interações inter/intra espécie, fases de ciclos de vida, famílias, espécies e/ou subespécies de peixes indígenas, que são representativos dos benefícios e/ou valor da zona húmida, contribuindo assim para a diversidade biológica global;
- Critério 8 - A zona húmida deve ser considerada internacionalmente importante se é uma fonte importante de alimento para peixes, local de desova, viveiro e/ou local de migração, dos quais peixes dependem;
- Critério 9 - A zona húmida deve ser considerada internacionalmente importante se contém regularmente, 1% dos indivíduos, numa população, de uma espécie ou subespécie de uma espécie animal, não aviária, dependente de zonas húmidas.

Portugal assinou a Convenção sobre Zonas Húmidas, em 1980, tornando-o no Decreto nº 101/80, de 9 de outubro, subscrevendo à missão de reconhecer zonas húmidas, elaborar planos de ordenamento e gestão, e promove a conservação das zonas húmidas e das comunidades existentes nestes ecossistemas. Deste modo, desde 2012, Portugal continental apresenta 18 sítios Ramsar.

3. Método

O projeto apresentado advém da necessidade de se implementarem estratégias que promovam o uso circular e sustentável de água. Assim, propôs-se analisar a possibilidade de criar um sistema de reutilização de água, utilizando as águas residuais tratadas pela ETAR de Cacia, para fornecimento do Complexo Químico de Estarreja, de modo a diminuir o seu consumo hídrico e promover práticas de utilização mais sustentável dos resíduos hídricos. De tal modo, realizou-se um estudo que inclui o dimensionamento de um sistema de abastecimento de água, com origem na ETAR de Cacia, e com o Complexo Químico de Estarreja, como destino final, assim como uma análise financeira associada ao dimensionamento do sistema e uma avaliação da capacidade de implementação deste projeto na ETAR de Cacia, de modo a responder aos objetivos definidos e determinar se a implementação deste projeto seria possível.

Ao longo deste capítulo serão descritas as metodologias utilizadas no desenvolvimento das várias etapas deste projeto.

3.1. Caracterização dos locais de estudo

3.1.1. Cacia

Cacia é uma freguesia no norte do concelho de Aveiro, limitada a norte e a este pelo rio Vouga e a ria de Aveiro, a oeste pela freguesia de Vera Cruz, a sul pela freguesia da Esgueira. Tem uma área total de 35.75 km² e uma população de 7354 habitantes, apresentando uma densidade populacional de 210 hab/km², perto do dobro da densidade populacional média de Portugal, sendo esta 114.5 hab/km² (Junta de Freguesia de Cacia, 2022).

Esta freguesia é um local de elevada importância para o setor industrial, sendo que grandes empresas como a Vulcano Bosch, Navigator e Renault, mantêm polos de atividade nesta freguesia.

3.1.1.1. ETAR de Cacia

A ETAR de Cacia é uma estação de tratamento de águas residuais, que se enquadra no centro operacional da Ria Norte, operado pelas Águas do Centro Litoral, pertencente ao grupo das Águas de Portugal. A ETAR foi inaugurada em 2003, e recebe e trata os efluentes provenientes dos concelhos de Águeda, Albergaria-a-Velha, Aveiro, Estarreja, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ovar e Santa Maria da Feira.

Estando dimensionada para tratar cerca de 48 700 m³/dia de efluentes líquidos, tem a capacidade de tratar efluentes domésticos de 272 mil habitantes, conjuntamente com efluentes industriais provenientes dos diversos polos industriais da região (SIMRIA, 2022).

A ETAR de Cacia providencia um tratamento de águas residuais que abrange águas (fase líquida) e lamas (fase sólida) (Águas do Centro Litoral, 2022; Parada et al., 2021). O tratamento da fase líquida consiste em:

1. Pré-tratamento:

- a. Gradagem, para remoção de sólidos de grandes dimensões, que se encontrem em suspensão. É realizada numa grelha manual e dois tamisadores (para remoção de sólidos de menor dimensão);
 - b. Desarenamento e desengorduramento, para remoção de areias, através de sedimentação devido à injeção de ar num desarenador, e gorduras, através de raspagens superficiais, sendo armazenadas num concentrador.
2. Decantação primária, para remoção de sólidos em suspensão, através de sedimentação. Este passo é efetuado através de dois decantadores com pontes raspadoras, onde os sólidos em suspensão se depositam, e a água decantada é recolhida através de um canal periférico. Os sólidos depositados são recolhidos pelos raspadores, sendo extraídos para um poço de concentração. Os sobrenadantes e óleos são eliminados através de varrimento superficial e encaminhados, novamente, para os processos de desarenamento e desengorduramento;
 3. Tratamento biológico com base num sistema de lamas ativadas em regime de arejamento prolongado, constituído por três tanques de arejamento, com quatro turbinas de arejamento superficial, por tranque. Através deste processo, a matéria orgânica é consumida por microrganismos, servindo de fonte de carbono, azoto e energia.
 4. Decantação secundária, constituída por três decantadores. Neste passo do tratamento são sedimentados os microrganismos provenientes do passo anterior, sendo estas aspiradas e encaminhadas para a câmara de lamas recirculadas.

O tratamento da fase sólida consiste nos seguintes passos:

1. Espessamento: as lamas primárias e secundárias são homogeneizadas por dois agitadores e encaminhadas para a parte central de dois espessadores gravíticos. Após o espessamento, as lamas são extraídas e a água superficial é recolhida e introduzida no início do tratamento da fase líquida.
2. Digestão anaeróbia. As lamas são encaminhadas para dois digestores primários e um secundário (complementado com gasómetro), que se encontram a 35°C, onde ocorrerá a digestão. Desta fase de tratamento resulta a produção de biogás.
3. Desidratação.

Após a conclusão dos processos de tratamento, o efluente tratado é devolvido ao meio recetor (oceano Atlântico), através do exutor submarino de S. Jacinto, e as lamas desidratadas podem ter utilidade agrícola.

3.1.2. Estarreja

O concelho de Estarreja situa-se na sub-região do Baixo Vouga, limitado pelos municípios de Albergaria-a-Velha, Murtosa, Ovar e Oliveira dos Azeméis (a sudeste, oeste, nordeste e norte, respetivamente). É composto por 5 freguesias (Avanca, Beduído e Veiros, Canelas e Fermelã, Pardilhó e Salreu) e regista uma área total de 108.11 km² e uma população total de 26997 habitantes, resultando numa densidade populacional de 249.7 hab/km², mais do dobro da densidade populacional de Portugal (Câmara Municipal de Estarreja, 2022).

A cidade de Estarreja e o Complexo Químico de Estarreja situam-se na freguesia de Beduído e Veiros, a maior das 5 freguesias do concelho e o centro de grande parte do importante setor industrial (em especial, setor de indústria química), do concelho.

3.1.2.1. Complexo Químico de Estarreja

O Complexo Químico de Estarreja (CQE) é um dos mais importantes centros da indústria petroquímica nacional, funcionando com base na interligação produtiva das empresas pertencentes. A sinergia existente entre o abastecimento de matérias-primas e reaproveitamento de subprodutos do processo principal permite maior competitividade com o mercado europeu, e embora algumas empresas tenham saído do complexo, ou fundido com outras existentes no mesmo, o CQE é atualmente um sistema rentável da produção de fileira de poliuretanos, PVC e químicos de tratamento de água (PACOPAR, 2017).

Atualmente é constituído pelas empresas Air Liquide, AQP – Aliada Química de Portugal, Bondalti, Cires e Dow Portugal, tendo diversas parcerias com entidades da comunidade da região.

Estas empresas, em parceria com várias entidades das áreas da Educação, Ciência, Saúde, Proteção Civil, e Ambiente, criaram o Painel Consultivo Comunitário do Programa Atuação Responsável (PACOPAR), de modo a tomarem uma abordagem conjunta à aproximação da comunidade.

Parte da ação da PACOPAR é tomada na área do ambiente, sendo os seguintes, os eixos do seu compromisso, para a sustentabilidade da região (PACOPAR, 2021):

- Melhorar continuamente o desempenho ambiental, de saúde e segurança em Estarreja, quer através de incorporação de novos meios, quer de processos e métodos de atuação mais operativos e eficazes;
- Responder localmente a problemas globais, encarando Estarreja como uma comunidade que além de influenciada pelas atividades locais, também é afetada por problemas globais a vários níveis, contribuindo também ela para os mesmos;
- Encarar a educação e a ciência como a base de parcerias de inovação contribuintes para a sustentabilidade das atividades económicas;
- Cultivar o diálogo e abertura como condutas de atuação para atingir a melhoria de desempenho ambiental, de saúde e segurança, e responder às preocupações dos cidadãos;
- Fomentar parcerias e uma atuação conjunta e integrada, criando sinergias como base para uma melhor eficácia das ações desenvolvidas e concretização de objetivos.

Dados estes objetivos, surge a motivação de um processo de viabilidade e dimensionamento de um sistema de abastecimento de água residual pós tratamento, de modo a explorar uma opção de uso sustentável de recursos hídricos.

3.1.3. Ria de Aveiro

A ria de Aveiro é uma zona húmida, pertencente ao distrito de Aveiro, considerada a mais importante do norte de Portugal. Caracterizada por um sistema estuarino-lagunar, constituído por uma rede de canais de maré permanentemente ligados e por uma zona terminal com canais estreitos e de baixa profundidade, abrange uma área total de cerca de 331 km², e é constituída por quatro canais principais de águas pouco profundas: Ovar, S. Jacinto, Mira e Ílhavo, onde se definem várias ilhas e ilhotas constituídas pela acumulação de materiais sedimentares (Maretec, 2022). A ria de Aveiro encontra-se permanentemente ligada ao oceano Atlântico, através de um canal artificial aberto no cordão litoral, que induz o efeito da maré na área da ria, denominado barra de Aveiro.

A ria de Aveiro apresenta extensas áreas de sapal e salinas, áreas significativas de caniço, e importantes áreas de arvoredos, algumas associadas a áreas agrícolas, sendo a sua exploração feita, não só por seres humanos, mas também por diversas espécies de aves, sobretudo espécies aquáticas e/ou migradoras, que as utilizam como local de alimentação e reprodução, tornando a ria de Aveiro uma Zona de Proteção Especial, ao abrigo da Diretiva das Aves (BDJUR, 2003).

Devido à sua proteção sob a Diretiva das Aves, a ria de Aveiro está incluída como área pertencente à Rede Natura 2000, sendo reconhecida internacionalmente como uma zona a ser preservada e utilizada de forma sustentável (EEA, 2015).

A ria de Aveiro também engloba, diversos locais de importância comunitária, tais como a reserva natural das dunas de S. Jacinto e o rio Vouga, assim como o Sítio Ramsar, Pateira de Fermentelos e vale dos rios Águeda e Cértima, amplificando a importância desta zona, a nível nacional e internacional, tornando a sua manutenção e sustentabilidade, imperativa (Aveiro, 2022).

3.2. Dimensionamento do sistema de abastecimento de água tratada

De forma a abastecer o CQE, foi considerado um cenário em que um sistema de abastecimento de água, proveniente da ETAR de Cacia, terá capacidade para transportar 12 000 m³/dia de água tratada, o que representa cerca de 25% do caudal afluente à ETAR. O caudal de retorno da ETAR de Cacia corresponde a uma majoração do caudal de água captado, pelo CQE, no rio Antuã, incluindo eventual utilização futura na regularização de caudais de zonas ecológicas sensíveis e na agricultura.

O sistema de abastecimento será composto por uma coletânea de tubagens, estações elevatórias, e reservatórios, assim como válvulas associadas aos elementos referidos.

A primeira etapa para determinar as especificações do sistema, é desenhar um perfil longitudinal do percurso percorrido pelo sistema de abastecimento de água. Este será utilizado para visualizar o sistema de abastecimento de água, em perfil, assim como os acessórios necessários ao abastecimento de águas, tais como válvulas, estações de perda de carga e estações elevatórias, embora essa atribuição apenas seja possível após a conclusão do passo final.

A segunda etapa para dimensionar o sistema de abastecimento de água é a obtenção dos diâmetros das tubagens que perfazem o sistema. A necessidade de obter uma gama de diâmetro permitidos vem de se poder verificar que tipo de diâmetro e material poderá ser utilizado para a construção do sistema, e posteriormente a estimação de custos associados.

Finalmente, após a determinação da gama de diâmetros permitida, calcularam-se as perdas de carga associadas a cada diâmetro. Estes valores contêm importância associada à localização das estações elevatórias e ou perda de carga, devido a, graficamente, corresponderem ao valor do declive das linhas de energia, que determinarão a necessidade da existência de uma estação elevatória ou perda de carga.

3.2.1. Desenho do perfil longitudinal do sistema

Para a obtenção do perfil longitudinal do sistema de abastecimento de água, foram utilizados os programas AutoCad e Microsoft Excel, e, como dados base, as cartas militares 163 (Estarreja) e 174 (Murtosa), à escala de 1:25000, provenientes do Centro de Informação Geoespacial do Exército, seguindo o procedimento descrito, em seguida (Galvão et al., 2020).

Primariamente, foi necessário realizar um ajuste da escala do AutoCad, de forma a coincidir com a escala da carta militar. Para esse feito, após a inserção da carta no programa, foi medida uma distância equivalente a 1000 m (utilizando a grelha de referência presente na carta militar), que se denominou D1, anotando o seu valor. Utilizou-se então a função “Scale”, utilizando D1 como a distância de referência e 1000 m como a nova distância. Mediu-se de novo a distância inicial para verificar o ajustamento da escala.

Após o ajustamento da escala, utilizou-se a função “Pline” para desenhar o percurso que será percorrido pelo sistema de abastecimento de água. Este percurso coincidiu com estradas (devido a uma maior facilidade de intervenção pública, seja na construção, manutenção ou reparação da infraestrutura), e os vértices da *polyline* sobrepuseram-se às curvas de nível (linhas que unem os pontos com a mesma elevação), de modo que se pudesse anotar o valor de elevação de cada vértice. Após o desenho da *polyline* utilizou-se a função “List”, de forma a obter as coordenadas dos vértices da *polyline*, que foram posteriormente copiados para uma folha de cálculo do programa Microsoft Excel.

Numa folha de cálculo, criaram-se três colunas onde se introduziram as coordenadas X, Y, e a elevação obtidas previamente, e numa quarta coluna calcularam-se as distâncias euclidianas entre os vértices, através da fórmula descrita na Equação 1:

$$d_{AB}(m) = \sqrt{(X_B(m) - X_A(m))^2 + (Y_B(m) - Y_A(m))^2} \quad \text{Equação 1}$$

d_{AB} – distância entre os pontos A e B (m)

X_A – Coordenada X do ponto A (m)

X_B – Coordenada X do ponto B (m)

Y_A – Coordenada Y do ponto A (m)

Y_B - Coordenada Y do ponto B (m)

Finalmente, utilizando a função “*Concatenate*”, do Microsoft Excel, juntaram-se, em forma de coordenadas, a distância e a elevação correspondente.

Utilizando, de novo, o AutoCad, utilizou-se a função “*Pline*”, conjuntamente com o par de coordenadas correspondentes à distância e elevação, para desenhar a *polyline* correspondente ao perfil longitudinal do sistema de abastecimento de água. Deve ser também referenciado que, devido à elevada diferença entre a distância total do perfil e os valores de elevação, os últimos foram multiplicados por um fator 10x, de modo a facilitar a visualização do perfil, e futuramente, de todas as infraestruturas associadas.

3.2.2. Determinação dos intervalos diâmetros do sistema de abastecimento

Tendo obtido o perfil longitudinal, o próximo passo a realizar para o desenho do sistema de abastecimento de águas, foi o dimensionamento do sistema, nomeadamente a determinação dos diâmetros das tubagens a utilizar, tendo em conta velocidades mínimas e máximas, estabelecidas previamente, assim como as perdas de carga associadas aos diversos diâmetros.

A primeira determinação foi a do fator associado às horas de funcionamento de um determinado troço (K_t). Este fator tem em conta o número de horas diárias de funcionamento de um troço de condutas, quando comparadas com a totalidade de horas diárias, de modo a considerar o acréscimo de água que terá de ser contabilizado para compensar o número de horas em que o troço não se encontra em funcionamento. Assim, o cálculo deste fator segue a Equação 2 (Galvão et al., 2020).

$$K_t = \frac{24 (h)}{h_f (h)} \quad \text{Equação 2}$$

K_t – Fator de horas de funcionamento associado a um troço

h_f – Número de horas, diárias, de funcionamento da estação elevatória (h)

Seguidamente, obteve-se o caudal de dimensionamento, o caudal de água associado ao valor inicial, tendo também em conta as perdas de água, horas de funcionamento dos troços e o fator de pico mensal. Assim, o cálculo do caudal de dimensionamento segue a Equação 3 (Galvão et al., 2020).

$$Q_{dim} (m^3/s) = Q (m^3/s) \times K_p \times K_t \times f_p \quad \text{Equação 3}$$

Q_{dim} – Caudal de dimensionamento (m^3/s)

Q – Caudal inicial (m^3/s)

K_t – Fator de horas de funcionamento do troço

K_p – Fator de perdas de água

f_p – Fator de pico mensal

Obtido o caudal de dimensionamento, conseguiram-se determinar os diâmetros mínimos e máximos associados ao mesmo, e aos valores de velocidades mínimas e máximas. Assim, através da Equação 4, foram determinados os diâmetros mínimos e máximos, para os troços de carácter gravítico e bombado.

$$D_{min/max}(m) = \sqrt{\frac{4 \times Q_{dim} (m^3/s)}{V_{min/max} (m/s) \times \pi}} \quad \text{Equação 4}$$

$D_{min/max}$ – Diâmetro mínimo/máximo (m)

Q_{dim} – Caudal de dimensionamento (m^3/s)

$V_{min/max}$ – Velocidade mínima/máxima (m/s)

Tendo obtido os diâmetros mínimo e máximo, deve-se proceder à seleção de um valor de diâmetro enquadrado entre o mínimo e máximo.

3.2.3. Determinação das perdas de carga e linha de energia associada ao perfil longitudinal do sistema de abastecimento

Obtidos os intervalos de diâmetros possíveis para o sistema de abastecimento de água, podem-se calcular as perdas de carga associadas ao transporte de água em tubagens com os diâmetros permitidos. Posteriormente, o valor de perda de carga foi utilizado como o declive da linha de energia associada ao perfil longitudinal do sistema de abastecimento, que teve como função a determinação

da localização das estações elevatórias do sistema, e permitiu finalizar o desenho do sistema de abastecimento de água.

Para a determinação das perdas de carga, foi utilizada a fórmula de Manning-Strickler, sendo esta adequada para sistemas de abastecimento de água e escoamentos superficiais. Assim, os dados necessários para o cálculo das perdas de carga foram o caudal de dimensionamento, obtido previamente, o raio hidráulico, que pôde ser calculado através da Equação 5, tendo como dados os vários diâmetros possíveis, a área da tubagem, associada a uma diversa gama de diâmetros disponível, para diferentes materiais, calculada através da Equação 6, e os coeficientes de Strickler (K_s) de cada material considerado (Quintela, 2014). Obtendo estes dados, obteve-se o valor associado às perdas de carga, através da Equação 7.

$$R_h(m) = \frac{D_{int}(m)}{4} \quad \text{Equação 5}$$

R_h – Raio hidráulico da tubagem (m)

D_{int} – Diâmetro interno da tubagem considerada (m)

$$S(m) = \frac{D_{int}^2(m) \times \pi}{4} \quad \text{Equação 6}$$

S – Área da secção de uma tubagem (m)

D_{int} – Diâmetro interno da tubagem considerada

$$J = \left(\frac{Q_{dim}(m^3/s)}{K_s(m^{1/3}/s) \times S(m^2) \times R_h^{\frac{2}{3}}(m)} \right)^2 \quad \text{Equação 7}$$

J – Perdas de carga associadas à tubagem considerada

Q_{dim} – Caudal de dimensionamento (m^3/s)

K_s – Coeficiente de Strickler do material considerado ($m^{1/3}/s$)

S – Área da secção da tubagem considerada (m^2)

R_h – Raio hidráulico da tubagem considerada (m)

Tendo obtido os valores das perdas de carga associadas aos vários diâmetros e materiais, concluiu-se a fase de obtenção de dados para desenhar o sistema de abastecimento de água, na sua totalidade.

Após a escolha de um ou mais diâmetros, e o seu correspondente material, a ser utilizado no sistema de abastecimento, consideraram-se as perdas de carga associadas e desenhou-se a linha de energia, que representa a elevação associada à carga total da água do sistema. Esta linha, no caso de a velocidade ser zero, sobrepõe-se à linha piezométrica, sendo essa a razão por, no início do perfil, este coincidir com a linha de energia. A linha de energia é uma linha reta, decrescente, com declive igual ao valor da perda de carga, representando a redução da capacidade de escoamento da água. Assim, uma intersecção da linha de energia com o perfil longitudinal, simboliza a incapacidade de escoamento de água e a necessidade da adição de mecanismos que aumentem a elevação da linha de energia, sendo estes mecanismos, maioritariamente, estações elevatórias. Uma estação elevatória tem uma altura de elevação associada, sendo essa altura de elevação, o acréscimo adicionado à linha de energia.

Seguindo este procedimento até ao final do perfil longitudinal, obteve-se a totalidade da linha de energia, assim como as localizações onde será necessário introduzir estações elevatórias, de modo a assegurar o fluxo contínuo e interrompido de água, no sistema de abastecimento de água.

Posteriormente, analisando o perfil longitudinal e a existência de estações elevatórias, realizou-se o último passo no desenho do sistema de abastecimento de água, que correspondeu à identificação das localizações dos acessórios do sistema, sendo estas válvulas de seccionamento, ventosas, válvulas de descarga de fundo, válvulas de retenção, válvulas de regulação de caudal, medidores de pressão e medidores de caudal. O procedimento utilizado para a determinação da localização de válvulas foi coincidente com o Decreto Regulamentar 23/95, de 23 de agosto (Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações, 1995):

1. Válvulas de seccionamento – válvulas que permitem o isolamento de uma porção do sistema para a realização de ações de manutenção, limpeza ou avaria do sistema.
 - a. Devem existir de 2 em 2 quilómetros;
 - b. Devem existir à entrada e saída de estações elevatórias, estações de perda de carga ou reservatórios;
 - c. Devem existir em bifurcações, em cada ramificação.
2. Ventosas – válvulas que têm como objetivo facilitar a entrada ou saída de ar da tubagem.
 - a. Devem ser localizadas em altura de elevada elevação relativa.
 - i. Caso a secção de tubagem seja ascendente, deve ser localizada a montante de uma válvula de seccionamento.
 - ii. Caso a secção de tubagem seja descendente, deve ser localizada e jusante da válvula de seccionamento.

3. Válvulas de descarga de fundo – válvulas que têm como objetivo o esvaziamento de troços de condutas, seja este completo ou parcial, entre válvulas de seccionamento, caso sejam precisas reparações ou manutenções
 - a. Devem existir nos pontos de cota menos elevada;
 - b. Caso haja troços de conduta de comprimento elevado, devem ser colocadas a montante ou jusante das válvulas de seccionamento, em troços descendentes ou ascendentes, respetivamente.
4. Válvulas de retenção – válvulas com o intuito de evitar o escoamento de água no sentido contrário ou indesejado.
 - a. Devem existir imediatamente após uma estação elevatória, especificamente após a bomba.
5. Válvulas de regulação de caudal – válvulas com a função de regular o caudal de uma porção do sistema de abastecimento de água.
6. Medidor de pressão.
7. Medidor de caudal.

3.3. Determinação do investimento associado ao projeto

A determinação do investimento associado à implementação de um sistema de abastecimento de água residual tratada, advinda da ETAR de Cacia, é um fator de elevada importância para a capacidade de implementação do projeto. De forma a criar um projeto de implementação viável, o balanço entre o investimento financeiro inicial, e os benefícios futuros, deve ser assegurado.

Para a determinação do investimento calcularam-se os custos associados à infraestrutura necessária para a construção do sistema de abastecimento de água residual tratada, sendo esta infraestrutura correspondente às condutas, estações elevatórias e reservatórios, nos quais também estão incluídas, estações de perda de carga.

Havendo estações elevatórias, existirá um custo significativo associado à energia necessária para o funcionamento das mesmas, sendo o custo de exploração também estimado.

3.3.1. Investimento base em equipamento, associado à infraestrutura

3.3.1.1. Investimento associado ao sistema de tubagens

O investimento associado ao sistema de tubagens, foi calculado tendo em conta os comprimentos dos diversos troços de condutas, do sistema, e o preço associado aos diversos materiais e diâmetros das mesmas. Assim, o custo total associado às condutas, foi calculado através da Equação 8.

$$C_{cond}(\text{€}) = \sum_{i=1}^n C_i(m) \times P_i (\text{€/m}) \quad \text{Equação 8}$$

C_{cond} – Custo associado às condutas (€)

C_i – Comprimento do trecho de condutas i (m)

P_i – Preço da conduta i (€/m)

n – Número de trechos de condutas a ser consideradas

3.3.1.2. Investimento associado às estações elevatórias

O investimento associado às estações elevatórias, resulta do cálculo individual do custo associado à construção civil da estação elevatória, assim como o custo do equipamento em si. Ambos os custos se relacionam diretamente com o caudal que será bombeado, e a altura de elevação da bomba utilizada.

Desta forma, o custo associado à construção civil foi calculado através da Equação 9, e o custo dos equipamentos foi calculado através da Equação 10 obtida a partir de casos de estudo (Galvão, 2020). O custo final associado a cada estação elevatória é o resultado da soma de ambos os valores, sendo o investimento total associado às estações elevatórias, correspondente à soma dos diferentes valores, de cada estação elevatória.

$$C_{cc}(\text{€}) = 39904 + 374 \times Q_{dim}(\text{l/s}) + 0.15 \times Q_{dim}(\text{l/s}) \times H(\text{m}) \quad \text{Equação 9}$$

C_{cc} – Custo associado à construção civil (€)

Q_{dim} – Caudal de dimensionamento (l/s)

H – Altura de elevação da bomba associada à estação elevatória (m)

$$C_{eq}(\text{€}) = 1317 \times Q_{dim}^{0.769}(\text{l/s}) \times H^{0.184}(\text{m}) + 2092 \times (Q_{dim}(\text{l/s}) \times H(\text{m}))^{0.486} \quad \text{Equação 10}$$

C_{eq} – Custo associado aos equipamentos (€)

Q_{dim} – Caudal de dimensionamento (l/s)

H – Altura de elevação da bomba associada à estação elevatória (m)

3.3.1.3. Investimento associado aos reservatórios

Os reservatórios são componentes essenciais para um sistema adutor, tendo diversas finalidades. Primariamente, os reservatórios têm uma função regularizadora do sistema adutor, ajudando a compensar as flutuações de consumo, face à adução. Por outro lado, têm uma função de

armazenamento, servindo de reservas de emergências, em casos de incêndios, avarias, ações de manutenção, problemas de qualidade da água, e falhas de energia, que conseqüentemente constituem a paragem das estações elevatórias. Em terceiro lugar, podem ajudar a equilibrar as pressões na rede distribuição, e finalmente podem ter a função de regularizar o funcionamento das bombagens, sendo equiparados a estações de perda de carga.

De modo a calcular o preço associado aos reservatórios existentes no sistema, é necessário calcular a capacidade volumétrica de cada um dos reservatórios.

Primariamente, calculou-se, para cada reservatório, o seu volume mínimo, que corresponde à multiplicação do volume médio diário de água (considerando o caudal de dimensionamento, previamente obtido), por um fator K. O valor deste fator varia consoante a população a ser afetada pelo sistema:

- K = 1, caso a população afetada pelo sistema seja superior a 100 000 habitantes;
- K = 1.25, caso a população afetada pelo sistema esteja entre 10 000 e 100 000 habitantes;
- K = 1.5, caso a população afetada pelo sistema esteja entre 1000 e 10 000 habitantes;
- K = 2, caso a população afetada pelo sistema seja inferior a 1000 habitantes, e/ou a zona considerada seja uma zona de risco.

Escolhendo o valor adequado do fator K, calculou-se o valor do volume mínimo através da Equação 11 (Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações, 1995).

$$V_{min} (m^3) = K \times Q_{dim}(m^3/s) \times 60 \times 60 \times 24 \quad \text{Equação 11}$$

V_{min} – Volume mínimo do reservatório considerado (m^3)

K – Fator associado à população e/ou zona de risco

Q_{dim} – Caudal de dimensionamento do sistema de abastecimento de água (m^3/s)

Posteriormente, calculou-se o volume atual necessário, para cada reservatório do sistema, que corresponde à soma dos valores dos volumes de regularização e de emergência.

O volume de regularização corresponde à soma do volume diário e horário, considerando as possíveis flutuações de consumo. Para o cálculo do volume diário, considera-se o caudal inicial e o fator de pico mensal predefinido. Analisando o Anexo I, correspondeu-se o valor do fator de pico mensal, a um fator P, com o qual se multiplicou o valor do caudal correspondente a um dia. Assim, o valor do volume de regularização pode ser obtido através da Equação 12 (Matos et al., 2020).

$$V_{reg}(m^3) = Q (m^3/s) \times P \times 24 \times 60 \times 60 \times (1 + \frac{1}{24})$$

Equação 12

V_{reg} – Volume de regularização (m^3)

Q – Caudal inicial (m^3/s)

P – Fator associado ao caudal de pico mensal

O volume de emergência corresponde ao valor máximo entre o volume de reparação e o volume de incêndios. O primeiro corresponde à multiplicação do tempo necessário para a reparação (geralmente, são comuns valores entre 5 e 8 horas para a reparação de um trecho de um sistema adutor) pelo caudal de dimensionamento, sendo a Equação 13 (Galvão et al., 2020)Equação 13, o método utilizado para a obtenção deste valor.

$$V_{rep}(m^3) = t \times Q_{dim}(m^3/s)$$

Equação 13

V_{rep} – Volume de reparação (m^3)

t – Tempo necessário para a reparação

Q_{dim} – Caudal de dimensionamento (m^3/s)

O volume de incêndios corresponde a um valor fixo, dependendo do risco de ocorrência e propagação de incêndios, na zona considerada. A gama de valores está distribuída da seguinte forma:

- 1º grau ($75 m^3$) – zona urbana de risco de incêndio mínimo, devido a baixo nível de infraestrutura, sendo maioritariamente zonas residenciais;
- 2º grau ($125 m^3$) – zona urbana de baixo risco de incêndio, constituída primariamente por edifícios isolados, com até 4 pisos;
- 3º grau ($200 m^3$) – zona urbana de risco moderado, constituída primariamente por edifícios, com até 10 pisos, destinado predominantemente para habitação, com casos pontuais de comércio e indústria;
- 4º grau ($300 m^3$) – zona urbana de risco considerável, constituída primariamente por edifícios com 10 ou mais pisos, destinada a habitação e serviços públicos, nomeadamente, centros comerciais;

- 5º grau (volume definido especificamente para cada situação) – zona urbana de risco elevado, caracterizada pela existência de construções antigas, ou primariamente edifícios comerciais e/ou atividade industrial que armazena, utiliza ou produz conteúdos inflamáveis ou explosivos.

Tendo obtido os volumes acima, pode-se obter o volume total dos reservatórios, através da Equação 14 (Matos et al., 2020).

$$V_t (m^3) = V_{reg}(m^3) + \max(V_{rep}; V_{inc}) (m^3) \quad \text{Equação 14}$$

V_t – Volume total do reservatório a ser considerado (m^3)

V_{reg} – Volume de regularização do reservatório a ser considerado (m^3)

V_{rep} – Volume de reparação do reservatório a ser considerado (m^3)

V_{inc} – Volume de incêndio do reservatório a ser considerado (m^3)

Tendo obtido os valores de volume total para cada reservatório, estes devem ser comparados com os valores do volume mínimo, calculados previamente. O valor final (V_f) a ser utilizado para a construção de cada reservatório, deve ser o maior valor entre o volume total e o volume mínimo.

Finalmente, caso exista a necessidade de construir estações de perda de carga, o custo de cada foi considerado um valor fixo, igual a 20 000 € (Galvão, 2020).

Desta forma, o valor final do investimento financeiro associado aos reservatórios, pode ser descrito pela Equação 15.

$$C_{res}(\text{€}) = \sum_{i=1}^n V_{f_i}(m^3) \times P_i(\text{€/m}^3) \quad \text{Equação 15}$$

C_{res} – Custo associado aos reservatórios (€)

V_{f_i} – Volume do reservatório i (m^3)

P_i – Preço do m^3 , para o reservatório i (€/m³)

3.3.2. Custos de operação associados aos custos energéticos

A utilização de estações elevatórias para o escoamento de água pelo sistema adutor, está sujeita à utilização de energia. A energia utilizada para bombagem constitui um gasto considerável, que aumenta com o aumento do número de estações elevatórias, com o aumento da altura de elevação das bombas associadas, e com o aumento do caudal de água a ser bombado.

Desta forma, o primeiro passo para o cálculo do custo energético associado às estações elevatórias, é calcular a potência da bomba associada. Para tal, os dados iniciais requeridos são o valor do caudal de bombagem, que considera a bombagem de caudal médio 90% do tempo de trabalho, e a bombagem de caudal de pico 10% do tempo de trabalho, o valor da densidade da água, a altura de elevação da bomba, a eficiência da bomba e a o valor da aceleração da gravidade. Obtendo os dados iniciais, a potência de uma bomba pode ser calculada através da Equação 16.

$$Pot (kW) = \frac{Q_B(m^3/s) \times \rho(kg/m^3) \times g(m^2/s) \times H(m)}{1000 \times \eta} \quad \text{Equação 16}$$

Pot – Potência de uma bomba (kW)

Q_B – Caudal de bombagem, considerando 90% de bombagem de caudal médio, e 10% de bombagem em caudal de pico (m^3/s)

ρ – densidade de um fluido (kg/m^3)

g – Aceleração de gravidade (m^2/s)

H – Altura de elevação da bomba considerada (m)

η – Eficiência da bomba considerada

Tendo obtido a potência associada a cada bomba, e conseqüentemente a potência total do sistema (considerando a possível existência de mais de uma bomba), calcularam-se os custos operacionais à energia consumida pelo sistema, tendo em conta um determinado período. Sendo que a potência calculada tem, como unidade de medida, kW, e o preço da energia é dado em €/kWh, a potência deve ser multiplicada pelo intervalo de tempo a considerar.

O dado final requerido, é o preço médio da energia elétrica, no momento considerado, obtido através dos dados da Rede Energética Nacional (REN) (REN, 2022). Estes dados foram registados no dia 16 de outubro de 2022.

Tendo obtido os dados necessários, o investimento final associado aos custos energéticos do sistema, podem ser obtidos através da Equação 17.

$$C_{energia}(\text{€}) = Pot (kW) \times t (h) \times C(\text{€/kWh})$$

Equação 17

$C_{energia}$ – Custo associado aos gastos energéticos do sistema (€)

Pot – Potência total do sistema (kW)

t – Período considerado (h)

P – Preço da energia elétrica no momento considerado (€/kWh)

3.4. Amortização do investimento final

Para a amortização, utilizou-se o método de Price de parcelas constantes, que resultam da soma do valor dos juros e da amortização, sendo o valor associado aos juros decrescente, enquanto os valores de amortização são crescentes. Assim, o valor das parcelas, segundo o método de Price é representado pela Equação 18.

$$Parc (\text{€}) = \frac{I (\text{€}) * Tj}{1 - \frac{1}{(1 + Tj)^n}}$$

Equação 18

Parc – Parcela constante que engloba os juros e a amortização (€)

I – Investimento total (€)

Tj – Taxa de juros

n – Período considerado, entre cada pagamento

4. Resultados e Discussão

4.1. Dimensionamento do sistema de abastecimento de águas

4.1.1. Desenho do perfil longitudinal do sistema

As seguintes figuras ilustram o percurso considerado como o escolhido para a construção do sistema de abastecimento de água. Deste modo, como observado na Figura 3, o sistema terá início na ETAR de Cacia ($40^{\circ}41'21.9''$ N, $8^{\circ}35'47.2''$ O) ligando-se em primeiro lugar, e durante um curto comprimento à estrada N582, até à sua interseção com a estrada N16, estrada que seguirá, até à sua bifurcação, sendo que o sistema seguirá a estrada N109. Esta estrada será seguida pelos troços restantes do sistema (Figura 4 e Figura 5), até à entrada do CQE ($40^{\circ}46'33.5''$ N, $8^{\circ}34'22.6''$ O), como ilustrado na Figura 6.

O percurso foi determinado de modo ao sistema percorrer sempre estradas nacionais, de modo a facilitar o processo de construção. Sendo coincidente com estradas nacionais, as licenças de bloqueio de vias e de construção, são realizadas de forma mais facilitada e não se levantam questão de cedência de territórios, caso existente se o percurso contemplasse propriedade privada. Por outro lado, a parte final do percurso contempla elevações de terreno que, embora não sejam de elevada dimensão, poderão fornecer a hipótese de transporte gravítico da água, por parte do sistema.

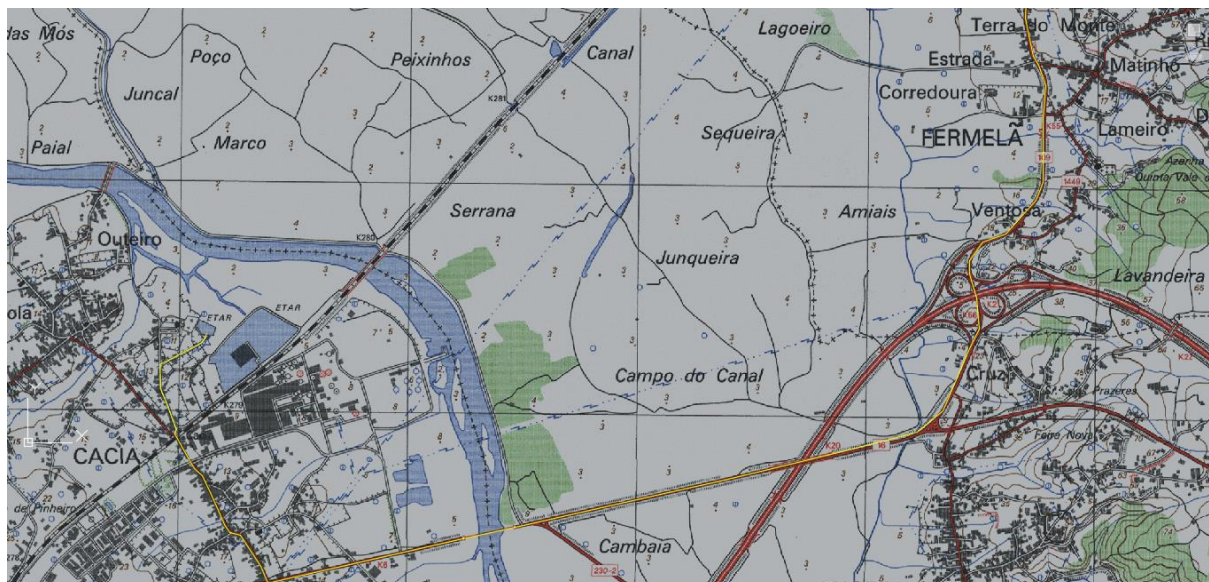


Figura 3 – Parte inicial do sistema de abastecimento de água, tendo início da ETAR de Cacia (Em amarelo)

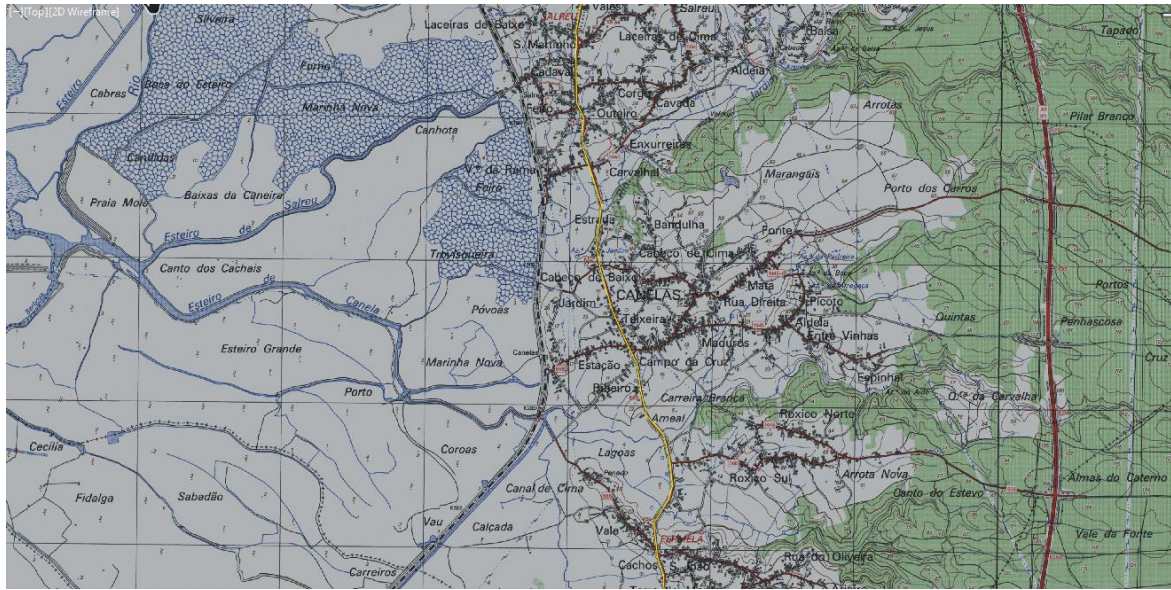


Figura 4 – Continuação do sistema de abastecimento de água, abrangendo as freguesias de Canela e Salreu (Em amarelo)



Figura 5 – Continuação do sistema de abastecimento de água, abrangendo a cidade de Estarreja (Em amarelo)

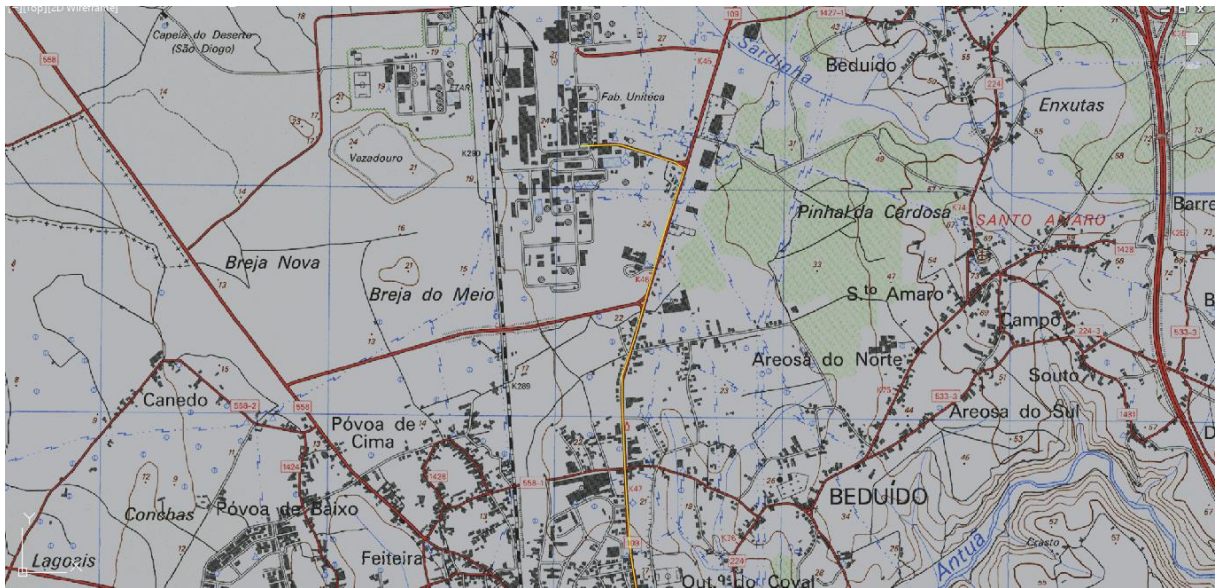


Figura 6 – Parte final do sistema de abastecimento, tendo final na Rua do Quimiparque, que corresponde à entrada do CQE (Em amarelo)

O sistema de drenagem de águas residuais, provenientes do CQE, para a ETAR de Cacia, segue o percurso ferroviário, paralelo ao sistema apresentado. O mesmo traçado não foi escolhido por duas razões: primariamente devido à maior dificuldade de obtenção de licenças de construção debaixo da rede ferroviária; em segundo lugar, pela ausência de elevação. Devido a essa ausência de elevação, iria ser necessária a implementação de mais estações elevatórias do que as propostas, levando a maiores custos associados à construção e operação das mesmas.

Seguindo procedimento descrito em 3.2.1, obteve-se o seguinte perfil longitudinal, apresentado na Figura 7.



Figura 7 - Perfil longitudinal do sistema de abastecimento de água, proveniente da ETAR de Cacia, até ao CQE

O perfil inicia-se com uma zona de baixa elevação relativa, havendo aos 2190.75 m de comprimento, um máximo relativo de cota, correspondendo a 17 m, exemplificando a constante topografia da região. A baixa elevação do terreno corresponderá a um pior funcionamento de sistemas gravíticos, devido às fracas diferenças de energia potencial da água, em vários pontos, havendo uma primeira indicação da necessidade de estações elevatórias.

Aos 4688.25 m, a elevação do relevo do terreno começa a aumentar, verificando-se outro máximo relativo, aos 6754.48 m de comprimento, correspondendo à cota de 31 m de altura, quase imediatamente seguido por um rápido decréscimo em altitude, registando-se aos 7236.82 m, um mínimo relativo, com cota igual a 5 m.

Segue-se então um novo crescimento, lento, da elevação do terreno, até ser atingido o máximo absoluto de altura, do perfil, com 45 m de cota, aos 10619.78 m. Considerando este o ponto mais

elevado do perfil, deve-se ter em conta a possibilidade de utilizar o mesmo, como início de um troço gravítico, dada a possibilidade de tal.

Finalmente, dá-se um decréscimo da elevação do perfil, seguida por uma leva subida e estabilização da cota do terreno, entre 16 m e 27 m de altura, até ao final do perfil, que regista 15767.56 m de comprimento.

4.1.2. Determinação do intervalo de diâmetros do sistema de abastecimento

De modo a iniciar a determinação do intervalo de diâmetros possível, tendo em conta as condições propostas, obtiveram-se dados iniciais, necessários para os cálculos descritos neste subcapítulo. A Tabela 2 contém todos os valores base, que foram utilizados para esta determinação.

Tabela 2 – Dados iniciais para o dimensionamento do sistema de abastecimento de água

Dado	Valor	Unidade
Caudal de água proveniente da ETAR de Cacia (Q)	12 000	m ³ /dia
Fator de perdas de água (K_p)	1,10	-
Fator de pico mensal (f_p)	1,3	-
Velocidade máxima de fluxo nas tubagens (V_{max})	1,5	m/s
Velocidade mínima de fluxo em troço gravítico (V_{minG})	0,3	m/s
Velocidade mínima de fluxo em troço bombado (V_{minB})	0,6	m/s

O caudal de retorno da ETAR de Cacia corresponde a uma majoração do caudal de água captado, pelo CQE, no rio Antuã, incluindo eventual utilização futura na regularização de caudais de zonas ecológicas sensíveis e na agricultura. O valor do fator de pico foi escolhido de modo que o volume de regularização corresponda à soma dos volumes diários, não sendo consideradas flutuações no consumo de água dado que as unidades industriais laboram continuamente, no tendo em conta o gráfico apresentado no Anexo I.

Seguindo o procedimento descrito em 3.2.2, obteve-se, em primeiro o lugar, o valor do fator associado às horas de funcionamento de um determinado troço (K_t). Para tal, foi assumido que, para troços gravíticos, as horas de funcionamento do troço correspondem à totalidade das horas diárias (24h), enquanto, para troços bombados, devido a interrupções no funcionamento das bombas, as horas de funcionamento do troço correspondem apenas a 16h. Dado este facto, utilizado a Equação 2, obtiveram-se os valores de $K_t=1$, para troços gravíticos, e $K_t=1.5$ para troços bombados, significando que, em troços bombados, as condutas terão de ser dimensionadas para acomodar um caudal de água 1.5 vezes superior ao caudal inicial, devido ao período reduzido de funcionamento das estações elevatórias, enquanto as condutas de troços gravíticos, não registam esta necessidade.

Seguidamente, tendo obtido o valor do fator associado às horas de funcionamento dos troços, calcularam-se os caudais de dimensionamento, utilizando a Equação 3. Deve ser notado que, devido à existência de valores diferentes de K_t , para troços bombados e gravíticos, existirão também, diferentes valores de caudal de dimensionamento, associados a cada valor de K_t . Desta forma, obtiveram-se valores de caudal de dimensionamento de 715 e 1072.5 m³/h, para condutas de troços gravíticos e bombados, respetivamente. Pode-se então observar a diferença de valores de caudais de dimensionamento, devido à diferença existente no valor de K_t .

Obtidos os valores dos caudais de dimensionamento, podem-se finalmente obter os valores mínimos e máximos de diâmetros, associados aos dois tipos de troços de condutas, através da Equação 4. Estes valores estão dispostos na Tabela 3, assim como os restantes valores calculados neste subcapítulo.

Tabela 3 - Valores calculados para o dimensionamento das condutas

	Condutas de troços gravíticos	Condutas de troços bombados
Fator associado às horas de funcionamento (K_t)	1	1,5
Caudal de dimensionamento (Q_{dim}) (m³/s)	0,199	0,298
Diâmetro máximo (D_{max}) (m)	0,616	0,754
Diâmetro mínimo (D_{min}) (m)	0,275	0,477

Como pode ser observado na Tabela 3, os valores máximos de diâmetro de condutas, calculados através da Equação 4, são 0,616 e 0,754 m, enquanto os diâmetros mínimos são 0,275 e 0,477 m, para condutas de troços gravíticos e bombados, respetivamente. Pode também ser observado que, a

diferença de valores de diâmetro mínimo, entre condutas de troços gravíticos e bombados, é maior do que no caso dos valores de diâmetro máximo. Esta diferença deve-se ao facto de haver valores diferentes de velocidades mínimas, para os dois tipos de troços, enquanto a velocidade máxima é a mesma, para ambos. Desta forma, as diferenças de valores, no caso do diâmetro mínimo, devem-se às diferenças de velocidade mínima e de caudal de dimensionamento, enquanto no caso do diâmetro máximo, a única diferença é o valor do caudal de dimensionamento.

Obtidos os intervalos de diâmetros adequados ao caudal a considerar, seguiu-se a determinação dos mesmos, considerado tubagens, de polietileno de alta densidade (PEAD), com as pressões nominais (PN) 2,5, 3,2, 4, 5, 6, 10, 12,5 e 16. Deste modo, considerando a possibilidade da existência de troços bombado e gravíticos, obtiveram-se as seguintes gamas de diâmetros nominais (DN) permitidos, para cada uma das PN, para ambos os tipos de troços, através das tubagens fornecidas pela empresa Henan Bingo Pipeline (Henan Bingo Pipeline, 2015):

Tabela 4 - Valores possíveis de diâmetros nominais (externos e internos) de tubagens de PEAD, associadas a várias gamas de pressão nominal

D_{ext} (m)	D_{int} (m) PN 2,5	D_{int} (m) PN 3,2	D_{int} (m) PN 4	D_{int} (m) PN 5	D_{int} (m) PN 6	D_{int} (m) PN 10	D_{int} (m) PN 12,5	D_{int} (m) PN 16
0,315	0,300	0,295	0,291	0,296	0,291	0,278	-	-
0,355	0,338	0,333	0,328	0,333	0,328	0,313	0,303	0,298
0,400	0,380	0,375	0,369	0,375	0,369	0,353	0,341	0,336
0,450	0,428	0,422	0,415	0,422	0,416	0,397	0,384	0,378
0,500	0,476	0,469	0,461	0,469	0,462	0,441	0,426	0,418
0,560	0,533	0,525	0,517	0,526	0,517	0,494	0,478	0,469
0,630	0,599	0,591	0,581	0,591	0,582	0,555	0,537	0,528
0,710	0,675	0,666	0,655	0,666	0,656	0,626	0,606	0,596
0,800	-	0,750	0,738	0,751	0,739	0,705	0,687	0,671

Observando os valores apresentados na Tabela 4, os diâmetros internos correspondentes às células azuis, podem ser considerados unicamente em troços gravíticos, as células rosa correspondem aos

diâmetros exclusivos a troços bombados, enquanto os valores inseridos nas células roxas, correspondem a diâmetros que podem ser utilizados em ambos os tipos de troços.

Note-se que, devido à menor amplitude do intervalo de diâmetros permitidos para troços bombados, existe uma menor variedade de possibilidades de diâmetros a ser utilizados, tornando a escolha de diâmetro e PN associada, menos versátil.

4.1.3. Determinação das perdas de carga e linha de energia associada ao perfil longitudinal do sistema de abastecimento

Como descrito em 3.2.3, a determinação das perdas de carga associadas às diferentes condutas, foi feita utilizando a fórmula de Manning-Strickler. Esta fórmula é adequada para sistemas de abastecimento de água (tais como o sistema apresentado neste projeto) e/ou para escoamentos superficiais, podendo estes corresponder a rios e efluentes, canais ou sistemas de drenagem. Por outro lado, poderia ter sido utilizada a fórmula de Colebrook-White, que também é adequada para sistemas como o apresentado, normalmente com maior precisão, mas devido à sua natureza iterativa, tornaria a obtenção dos valores das perdas de carga mais complexa e sujeita a erro humano, tendo sido escolhida a primeira opção. Outra razão para a rejeição da fórmula de Colebrook-White, foi o facto de esta ser adequada para sistemas com elevadas perdas de carga contínuas. Observando os valores de perda de carga obtidos, não se verifica que sejam elevados, favorecendo a escolha da fórmula de Manning-Strickler (Quintela, 2014).

Para se poder utilizar a fórmula de Manning-Strickler para além dos caudais de dimensionamento obtidos previamente em 4.1.2, foi também necessário calcular a área da secção da conduta considerada, assim como o seu raio hidráulico, sendo estes valores obtidos através da utilização da Equação 5 e Equação 6, assim como o valor do coeficiente de Strickler (K_s), um valor associado a cada material que compõe a conduta. De forma a utilizar esta equação para a obtenção do valor do raio hidráulico, considerou-se a aproximação associada ao preenchimento total da conduta.

Deste modo, os valores obtidos para as áreas de secção das condutas com os possíveis diâmetros, assim como os correspondentes raios hidráulicos, estão apresentados na Tabela 5 e Tabela 6:

Tabela 5 - Valores de áreas de secção, associados aos possíveis diâmetros de tubagens

D_{ext} (m)	Área (m²) - PN 2,5	Área (m²) - PN 3,2	Área (m²) - PN 4	Área (m²) - PN 5	Área (m²) - PN 6	Área (m²) - PN 10	Área (m²) - PN 12,5	Área (m²) - PN 16
0,315	0,070	0,069	0,066	0,069	0,066	0,061	-	-
0,355	0,090	0,087	0,084	0,087	0,084	0,077	0,072	0,070

0,400	0,114	0,111	0,107	0,111	0,107	0,098	0,091	0,088
0,450	0,144	0,140	0,135	0,140	0,136	0,124	0,116	0,112
0,500	0,178	0,173	0,167	0,173	0,167	0,152	0,143	0,137
0,560	0,223	0,217	0,210	0,217	0,210	0,191	0,179	0,173
0,630	0,282	0,274	0,265	0,275	0,266	0,242	0,227	0,219
0,710	0,358	0,348	0,337	0,349	0,338	0,308	0,288	0,279
0,800	-	0,442	0,428	0,443	0,429	0,391	0,370	0,354

Tabela 6 - Valores de raio hidráulico, associados aos possíveis diâmetros de tubagens

D_{ext} (m)	R_h (m) – PN 2,5	R_h (m) – PN 3,2	R_h (m) – PN 4	R_h (m) – PN 5	R_h (m) – PN 6	R_h (m) – PN 10	R_h (m) – PN 12,5	R_h (m) – PN 16
0,315	0,075	0,074	0,073	0,074	0,073	0,069	-	-
0,355	0,084	0,083	0,082	0,083	0,082	0,078	0,076	0,074
0,400	0,095	0,094	0,092	0,094	0,092	0,088	0,085	0,084
0,450	0,107	0,106	0,104	0,106	0,104	0,099	0,096	0,094
0,500	0,119	0,117	0,115	0,117	0,115	0,110	0,107	0,105
0,560	0,133	0,131	0,129	0,131	0,129	0,123	0,119	0,117
0,630	0,150	0,148	0,145	0,148	0,145	0,139	0,134	0,132
0,710	0,169	0,166	0,164	0,167	0,164	0,156	0,151	0,149
0,800	-	0,188	0,185	0,188	0,185	0,176	0,172	0,168

Após a obtenção dos valores das áreas de secção e raios hidráulicos, utilizou-se a Equação 7, que corresponde à equação de Manning-Strickler, para o cálculo das perdas de carga associadas a cada

diâmetro externo, dentro da gama dos diâmetros admissíveis. Devido à utilização do valor do caudal de dimensionamento para o cálculo das perdas de carga, os valores das perdas de carga de troços bombados serão distintos dos valores de perda de carga de troços gravíticos, para os mesmos valores de DN e PN, devido à diferença existente entre caudais de dimensionamento. Deste modo, a Tabela 7 e Tabela 8 correspondem à apresentação dos valores de perda de carga, para os troços bombados e gravíticos, respetivamente.

Tabela 7 - Valores de perdas de carga, associados a possíveis diâmetros de tubagens, para troços bombados

D_{ext} (m)	J (PN 2,5)	J (PN 3,2)	J (PN 4)	J (PN 5)	J (PN 6)	J (PN 10)	J (PN 12,5)	J (PN 16)
0,560	0,0022	0,0023	0,0026	0,0023	0,0025	0,0033	0,0039	-
0,630	0,0012	0,0013	0,0014	0,0012	0,0014	0,0017	0,0021	0,0023
0,710	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0009	0,0011	0,0012
0,800	-	0,0003	0,0004	0,0003	0,0004	0,0005	0,0006	0,0006

Tabela 8 - Valores de perdas de carga, associados a possíveis diâmetros de tubagens, para troços gravíticos

D_{ext} (m)	J (PN 2,5)	J (PN 3,2)	J (PN 4)	J (PN 5)	J (PN 6)	J (PN 10)	J (PN 12,5)	J (PN 16)
0,315	0,021	0,022	0,024	0,022	0,024	0,031	-	-
0,355	0,011	0,012	0,013	0,012	0,013	0,017	0,020	0,021
0,400	0,006	0,006	0,007	0,006	0,007	0,009	0,010	0,011
0,450	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004	0,005	0,006	0,006
0,500	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004
0,560	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
0,630	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

0,710	-	-	-	-	-	-	-	0,001
-------	---	---	---	---	---	---	---	-------

Como pode ser observado, para o mesmo diâmetro e classes de pressão, as perdas de carga associadas aos caudais bombados são superiores aos valores correspondentes para os caudais gravíticos, devido ao facto do primeiro ser consideravelmente superior ao último.

Assim, considerando as perdas de carga apresentadas, determinou-se que, para a totalidade do sistema se utilizaria um DN de 630mm, pois apresenta perdas de carga regularmente baixas. Tendo em conta a possibilidade de um troço gravítico, com origem no ponto de maior cota, este diâmetro permite que se realize escoamento gravítico, no restante percurso. Relativamente às PN a ser utilizadas, dependendo da elevação total da coluna de água, assim também variam as PN das tubagens do sistema. Dessa forma, na Figura 8, é apresentado o perfil longitudinal, complementado pelas linhas de energia, associadas à utilização de tubagens de 0,63m de diâmetro, dependendo da sua respetiva PN. Deve ser notado que, as linhas a amarelo correspondem à utilização de tubagens com PN12,5, a branco correspondem a tubagens de PN10, laranja correspondem a tubagens de PN6, e vermelho correspondem a tubagens de PN 5.

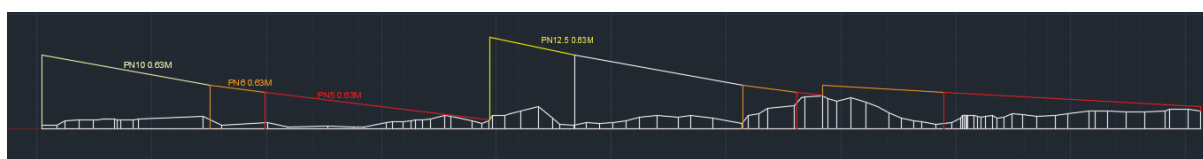


Figura 8 - Perfil longitudinal do sistema de abastecimento de água, complementado com linhas de energia associadas à utilização de tubagens com 0,63 m de diâmetro, com 4 variedades de PN

Observando a Figura 8, nota-se que, inicialmente, é necessária a presença de uma estação elevatória de sucede o reservatório inicial, localizado na ETAR de Cacia (40°41'21.9" N, 8°35'47.2" O). A existência desta estação elevatória permite a elevação da coluna de água e o fluxo da mesma, pelo percurso. Esta estação elevatória tem uma bomba com altura de elevação igual a 95m, que adicionando aos 5m de elevação inicial, perfazem 100m de altura de coluna de água, começando-se pela utilização de PN 10, sendo que à medida que o valor da linha de energia diminui, e atinge os 60m de altura, irão ser utilizadas tubagens de PN6, e quando atinge 50m, PN5.

Seguidamente, com o declínio da linha de energia, é necessária a existência de uma segunda bombagem, para elevar de novo a coluna de água. Esta estação elevatória situa-se a 11,95m de altura, e a altura de elevação da bomba corresponde a 113,05m, de modo a perfazer 125m de altura de coluna de água, começando-se com a utilização de tubagens com PN12,5, sendo que as alterações de PN seguem o procedimento anterior. Devido ao aumento das elevações relativas do terreno, este troço é o de menor comprimento, tendo o seu final no local de maior elevação relativa (45m), onde estará colocado um reservatório, complementado com uma torre de pressão de 15m de altura, onde se iniciará o troço gravítico, iniciando-se o mesmo, com tubagens de PN6. Este troço, irá concretizar a restante

parte do sistema, terminando à entrada do Complexo Químico de Estarreja (40°46'33.5" N, 8°34'22.6" O).

Em anexo eletrónico, é apresentado o documento associado ao perfil longitudinal, complementado com as linhas de energia, de modo a poder ser observado com maior detalhe e resolução, dada a incapacidade de o apresentar, na sua totalidade, com a resolução ideal.

Relativamente à introdução de acessórios do sistema de abastecimento, os mesmos foram introduzidos seguindo o procedimento identificado em 3.2.3:

- Reservatórios – Foram inseridos no sistema 4 reservatórios. O primeiro, localiza-se no início do sistema, na ETAR de Cacia, servindo como fonte de armazenamento de água e alimentação do sistema. O segundo, é um reservatório de transição, localizado à chegada da segunda estação elevatória (considerando a inicial como a primeira). O terceiro reservatório antecede o troço final, localizando-se à altura máxima do sistema (45 m), sendo que a sua função pode ser a origem de dois cenários diferentes, que serão introduzidos em 4.2.1.2. Finalmente, o reservatório final localiza-se no fim do sistema, no CQE, sendo este também de armazenamento e fornecimento de água às operações do complexo industrial.
- Válvulas de seccionamento – Foram introduzidas à entrada e saída das estações elevatórias e dos reservatórios, e aproximadamente, de 2 em dois quilómetros.
- Ventosas e válvulas de descarga de fundo – Foram introduzidas antes e/ou depois das válvulas de seccionamento. Caso a válvula de seccionamento esteja num máximo ou mínimo relativo, colocaram-se antes e depois da mesma, ventosas ou válvulas de descarga de fundo, respetivamente. Caso a válvula de seccionamento se localize num troço ascendente ou descendente, seguiu-se o procedimento referenciado em 3.2.3.
- Válvulas de retenção – Foram colocadas duas válvulas de retenção, imediatamente após as estações elevatórias do sistema, de modo a assegurar o fluxo na direção correta, após as bombagens.
- Válvulas de regulação de caudal – Foram colocadas válvulas de regulação de caudal à entrada de cada reservatório, incluindo os reservatórios que precedem as estações elevatórias, de modo a amenizar a introdução do caudal à chegada de ambos.
- Medidores de pressão e caudal – Foram colocados medidores de pressão e caudal, imediatamente a seguir às estações elevatórias, de modo a assegurar o bom funcionamento das mesmas, e do sistema que as sucede.

Deste modo, a Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15, e Figura 16, verificam e apresentam final do perfil longitudinal do sistema de abastecimento de água, complementado com os acessórios correspondentes. Em anexo eletrónico, está disponível o ficheiro associado ao perfil longitudinal, complementado com os acessórios, de modo a poder ser observado com todo o detalhe e resolução desejados, dada à incapacidade de apresentação dos mesmos, na sua totalidade, com a resolução desejada.

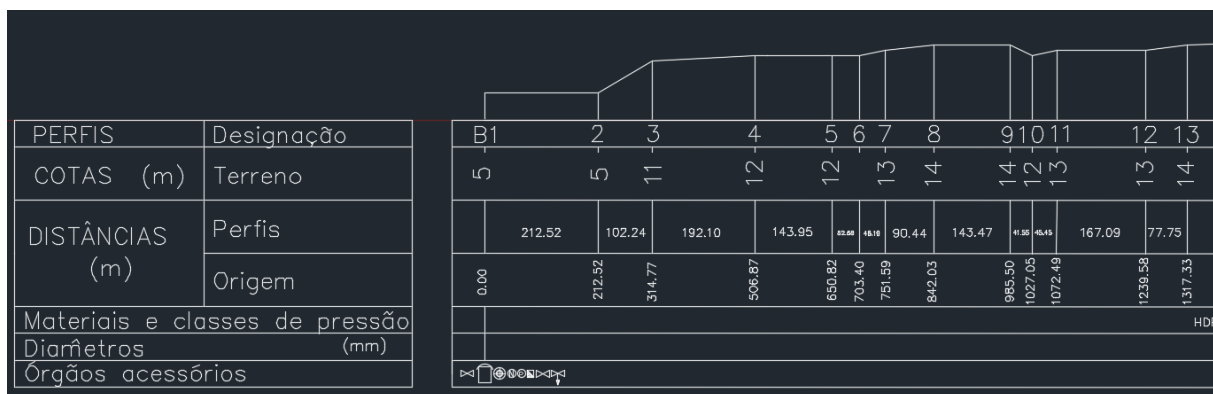


Figura 9 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, desde o início, no ponto B1 até ao ponto 13

A Figura 9 representa a parte inicial do sistema, até ao ponto 13 do mesmo, constituída por tubagens de diâmetro igual a 0,63 m, de PN10, que dão início ao troço bombado B1. Nesta parte do sistema, está ilustrada a bombagem inicial, B1, precedida por uma válvula de seccionamento e o reservatório R1, seguida de medidores de caudal e pressão, assim como uma válvula de retenção, uma válvula de seccionamento, e uma válvula de descarga de fundo, dada a baixa altitude relativa do terreno.

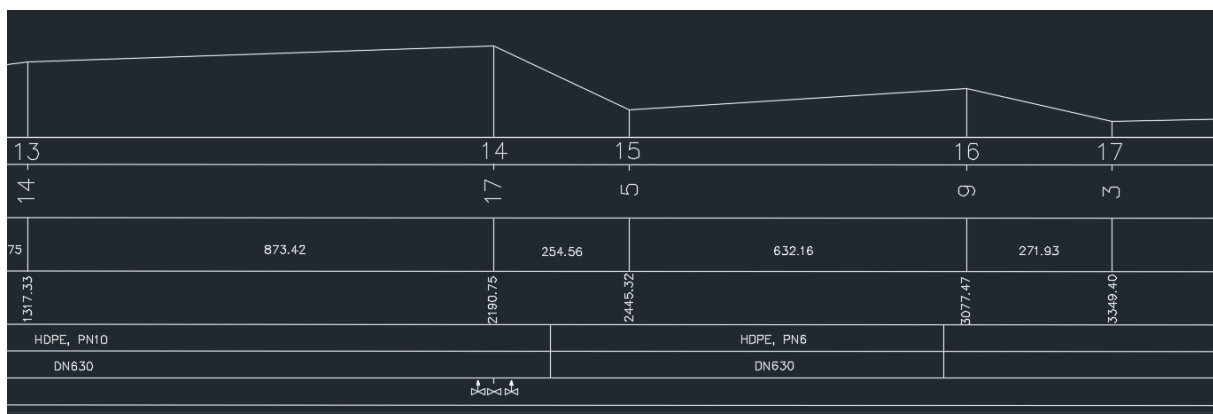


Figura 10 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 13 até ao ponto 17

A Figura 10 representa a continuação do troço bombado B1, localizada entre os pontos 13 e 17, onde se verifica a alteração de tubagens de DN 0,63 m e PN10, para DN 0,63 m e PN6, e para DN 0,63 m e PN5. Verifica-se ainda a existência de uma válvula de seccionamento, entre ventosas, devido a verificar-se um máximo relativo de cota, do sistema.

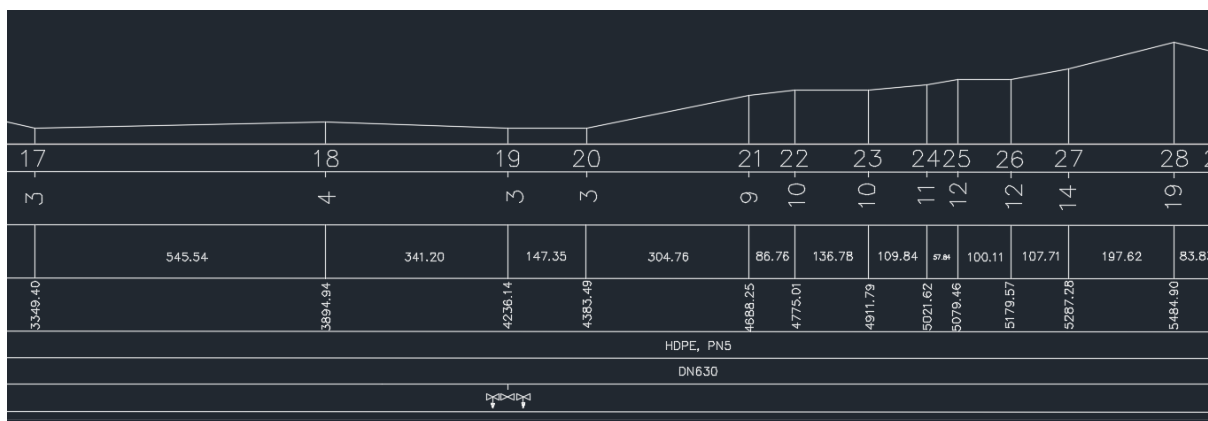


Figura 11 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 17 até ao ponto 28

A Figura 11 ilustra a continuação do troço bombado B1, sendo apenas notar a existência de uma válvula de seccionamento, entre válvulas de descarga de fundo, devido à existência do mínimo absoluto de cota, do sistema.

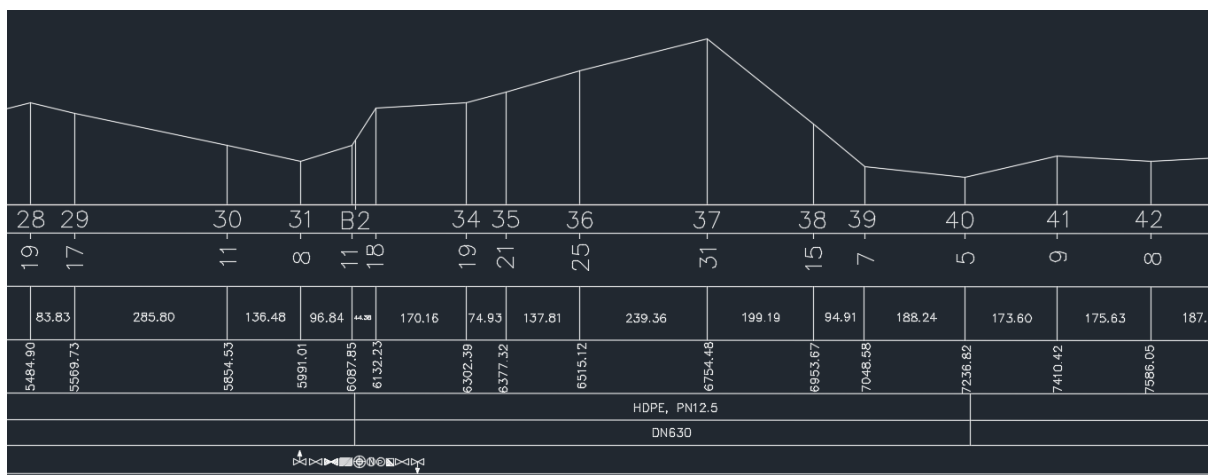


Figura 12 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 28 até ao ponto 42

A Figura 12 demonstra o fim do troço bombado B1 e o início do troço bombado B2, que se inicia com tubagens de DN 0,63 m e PN12,5, havendo a transição para tubagens de DN 0,63 m e PN10. Relativamente à estação elevatória B2, esta é precedida por uma ventosa, válvula de seccionamento, válvula de regulação de caudal e o reservatório de transição R2, sendo sucedida por medidores de caudal e pressão, válvula de retenção, válvula de seccionamento e válvula de descarga de fundo.

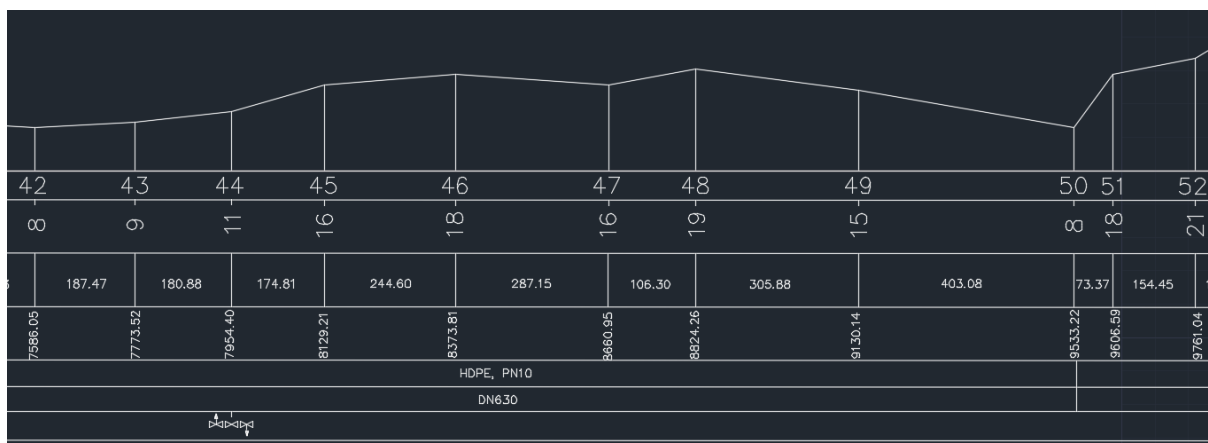


Figura 13 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 42 até ao ponto 52

A Figura 13 ilustra a continuação do troço bombado B2, verificando-se a transição de tubagens de DN 0,63 m e PN10, para DN 0,63 m e PN 6. Existe também uma válvula de seccionamento, antecedida por uma ventosa e sucedida por uma válvula de descarga de fundo, devido à existência de um troço ascendente.

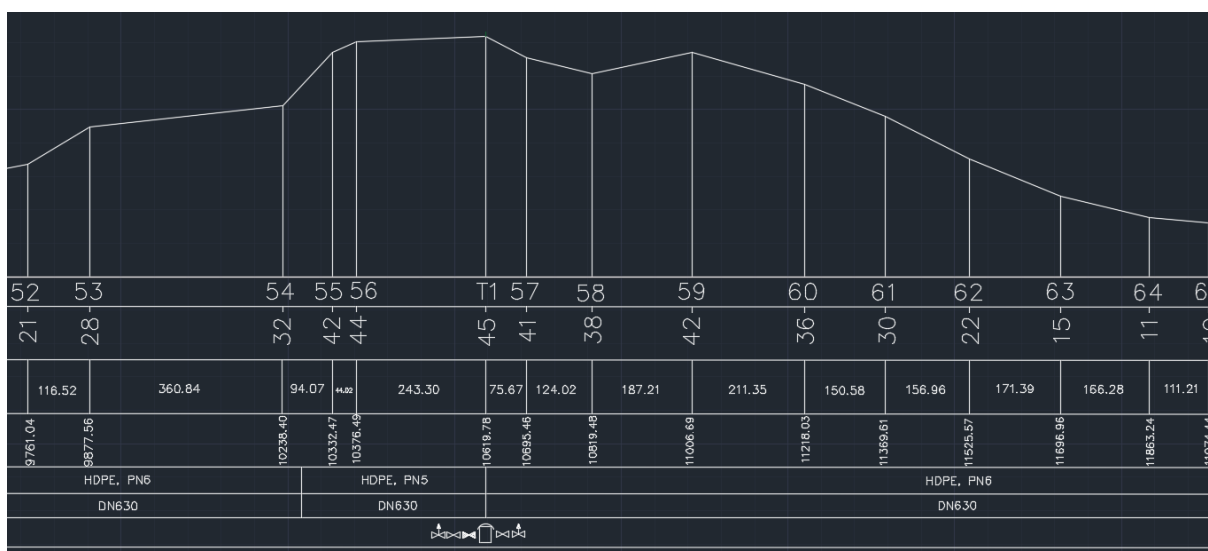


Figura 14 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 52 até ao ponto 65

A Figura 14 ilustra em primeiro lugar, a alteração de tubagens de DN 0,63 m e PN6, para DN 0,63 m e PN5. Esta parte final do troço bombado B2, termina no ponto T1, onde se situa o reservatório R3 e se inicia o troço gravítico G1, com tubagens com DN 0,63 m e PN6. O reservatório R3, é precedido por uma ventosa, válvula de seccionamento e válvula de regulação de caudal, e sucedido por uma válvula de seccionamento e ventosa (da esquerda para a direita), devido a situar-se no máximo absoluto de cota, do sistema.

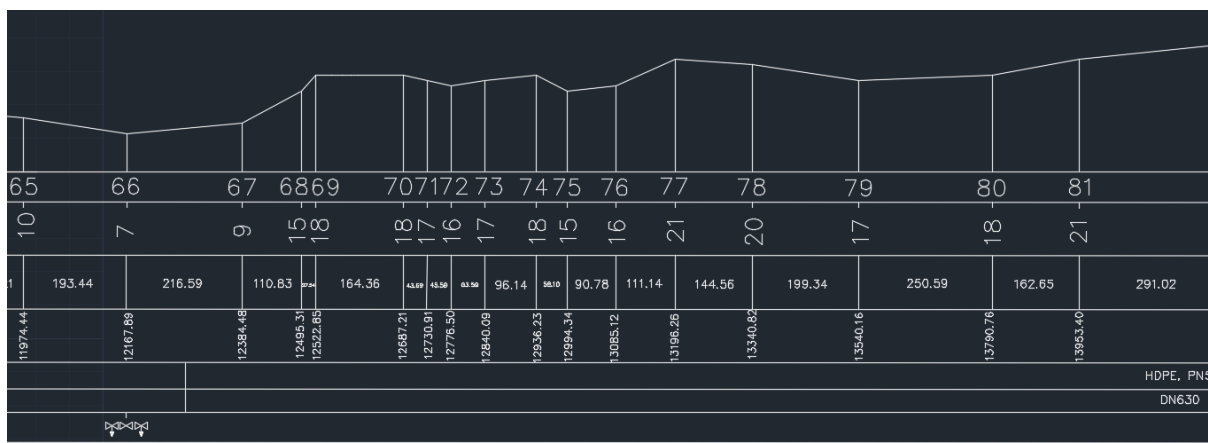


Figura 15 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 65 até ao ponto 81

A Figura 15, ilustra o sistema de abastecimento de água entre os pontos 65 e 81, verificando-se a existência de uma válvula de seccionamento, entre válvulas de descarga de fundo, devido a verificar-se um mínimo relativo do sistema. Verifica-se também a alteração de tubagens, de DN 0,63 m e PN6 para DN 0,63 m e PN5.

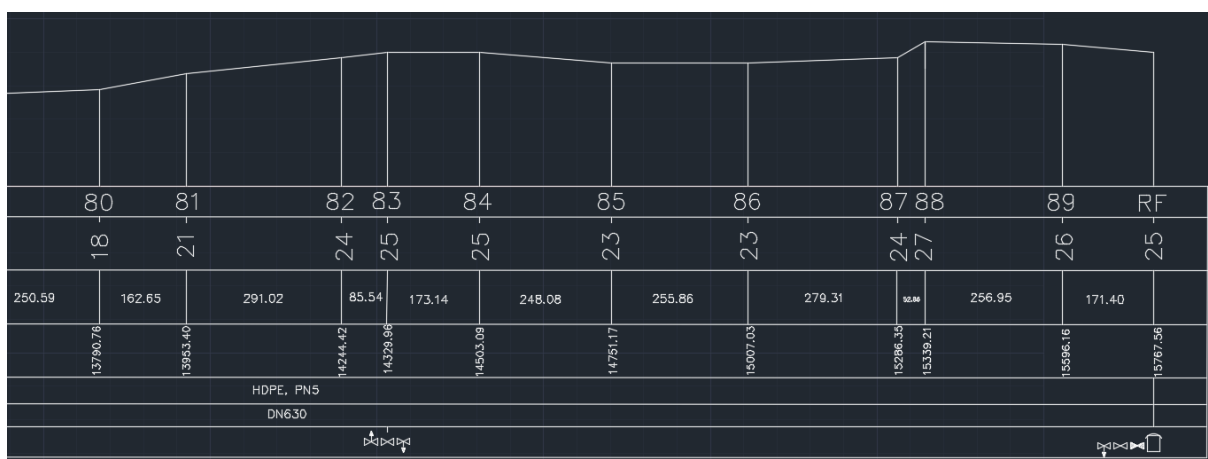


Figura 16 - Perfil longitudinal, complementado com os acessórios do sistema, a partir do ponto 80 até ao seu término, no ponto RF

A Figura 16 ilustra a parte terminal do sistema, sendo esta composta por tubagens de diâmetro 0,63 m, com PN5, verificando-se a existência de uma válvula de seccionamento, precedida por uma ventosa, e sucedida por uma válvula de descarga de fundo (devido a ser um troço descendente), e no final do sistema, uma válvula de descarga de fundo, seguida por uma válvula de seccionamento, uma válvula de regulação de caudal, e o reservatório R4 (da esquerda para a direita).

4.2. Análise do investimento

4.2.1. Investimento base em equipamento, associado à infraestrutura

4.2.1.1. Investimento associado ao sistema de condutas

O cálculo do investimento financeiro associado ao sistema de condutas, foi efetuado utilizando as distâncias associadas a cada tipo de tubagem (considerando os diferentes diâmetros e pressões nominais), e o custo associado a cada. Devido a não terem sido encontrados dados, de empresas portuguesas, relativos aos custos associados à gama de DN e PN utilizadas, e após uma tentativa falhada de contacto, para obtenção de informação, com a empresa portuguesa AmbiFlow, utilizaram-se dados provenientes da empresa Matrix Piping Systems, para o ano de 2018, estando estes custos apresentados em dólares australianos, sendo necessária a conversão para euros (Matrix Piping, 2017), e sendo incluído o custo da construção civil associado. A taxa de conversão utilizada, data do dia 5 de outubro de 2022, sendo que nesse dia, 1 AUS\$ correspondia a 0,65€.

O sistema de condutas, como descrito em 4.1, divide-se em três troços, sendo os dois primeiros bombados, e o terceiro gravítico. Deste modo, o cálculo do investimento associado ao sistema, foi também dividido em três partes, que na sua totalidade contemplam o investimento associado às condutas.

A primeira parte do sistema de condutas é um troço bombado, com um comprimento de 6093,87 metros, que se encontra localizada na região com menor elevação relativa, dentro do sistema. Deste modo, foi possível a utilização de tubagens com baixos valores de PN, sendo maioritariamente constituído por tubagens de PN 10 e 5, apresentando as seguintes características e custos associados:

Tabela 9 - Investimento associado ao troço B1 do sistema

Troço	Tipo	Distancia (m)	Custo unitário* (€/m)	Diâmetro (m)	Custo (€)
B1 PN10	Bombado	2296,80	266,24	0,63	611500
B1 PN6	Bombado	737,00	176,31	0,63	129942
B1 PN5	Bombado	3060,07	114,50	0,63	350370
Total	-	6093,87	-	-	1091812

* Custo unitário (€/m), corrente de 2018

A segunda parte do sistema de condutas é um segundo troço bombado, com um comprimento de 4525,92 metros. Este troço é relativamente o menor, devido a ter fim no local de maior elevação relativa

do sistema, limitando o alcance do mesmo devido ao cruzamento da linha de energia do sistema, com o relevo da região.

Tabela 10 - Investimento associado ao trecho B2 do sistema

Troço	Tipo	Distancia (m)	Custo unitário* (€/m)	Diâmetro (m)	Custo (€)
B2 PN12,5	Bombado	1153,36	325,00	0,63	374842
B2 PN10	Bombado	2290,98	266,24	0,63	609950
B2 PN6	Bombado	736,17	176,31	0,63	129795
B2 PN5	Bombado	345,41	114,50	0,63	39548
Total	-	4525,92	-	-	1154137

* Custo unitário (€/m), corrente de 2018

A terceira e última porção do sistema de condutas é constituída por um trecho gravítico, de 5147,77 metros de comprimento, que se inicia no ponto de maior elevação relativa do sistema (45m), de modo a otimizar o uso do escoamento gravítico, de modo a reduzir a utilização e custos energéticos, associados a estações elevatórias, minimizando também os custos associados ao transporte de água.

Tabela 11 - Investimento associado ao trecho G1 do sistema

Troço	Tipo	Distancia (m)	Custo unitário* (€/m)	Diâmetro (m)	Custo (€)
G1 PN6	Gravítico	1658,33	176,31	0,63	292384
G1 PN5	Gravítico	3489,44	114,50	0,63	399532
Total	-	5147,77	-	-	691916

* Custo unitário (€/m), corrente de 2018

Aglomerando os custos associados a cada parte do sistema, observam-se, na Tabela 12, os custos totais associados ao sistema de tubagens:

Tabela 12 - Investimento total, associado ao sistema de condutas, do sistema

Troço	Tipo	Distancia (m)	Custo (€)
B1	Bombado	6093,87	1091812
B2	Bombado	4525,92	1154137
G1	Gravítico	5147,77	691916
Total	-	15767,56	2937866

4.2.1.1. Investimento associado às estações elevatórias

Como observado em 4.1.3, o sistema irá incluir duas estações elevatórias, cada uma correspondente a um diferente troço bombado do sistema. Os valores das alturas de elevação das bombas, foram determinadas precisamente para corresponder a uma altura específica da coluna de água, de modo a maximizar o uso de condutas com um menor valor de PN, minimizando também os custos associados.

A primeira estação elevatória, situa-se no início do sistema, a 5 metros de altitude, e a sua bomba associada irá ter uma altura de elevação de 95 metros, de modo que a coluna de água se situe a 100 metros. Por outro lado, a segunda estação elevatória situa-se, aproximadamente a 11,95 metros de altitude, sendo que a sua altura de elevação irá corresponder a 113,05 metros, de modo a contemplar 125 metros de altura da coluna de água.

Estabelecidas as alturas de elevação, de cada uma das bombas, associadas às suas respetivas estações elevatórias, através da Equação 9 e Equação 10, calcularam-se os valores dos custos de construção civil, e dos equipamentos, respetivamente, estando estes apresentados na Tabela 13:

Tabela 13 - Investimento associado às estações elevatórias, do sistema

Estações Elevatórias	Traçado	Elevação (m)	Construção Civil (€)	Equipamentos (€)	Custo Final (€)
1	B1	95	155570	491632	647203
2	B2	113,05	156376	520517	676894
Total	-	-	311946	1012150	1324097

4.2.1.2. Investimento associado aos reservatórios

Observando o perfil longitudinal que, que descreve o sistema, observa-se a necessidade da existência de quatro reservatórios.

O primeiro reservatório (R1), tem uma função de distribuição e estará situado a montante do sistema, integrado na ETAR de Cacia, armazenando a água tratada, que será transportada no mesmo. Para o seu dimensionamento, irá ser considerado o caudal de dimensionamento bombado, pois o troço que o sucede corresponde ao primeiro troço bombado.

O segundo reservatório (R2) é um reservatório de transição, que precede a segunda estação elevatória, tendo uma função de regular caudal e o funcionamento da bombagem que o sucede. Devido a ser um reservatório de transição, a sua dimensão será inferior, quando comparada com a dimensão dos reservatórios inicial e final, que contemplam o armazenamento de água a longo prazo. Para o seu dimensionamento, irá ser considerado o caudal de dimensionamento bombado, pois o troço que o precede corresponde ao primeiro troço bombado.

O terceiro reservatório (R3) está sujeito a duas hipóteses, que serão exploradas com a apresentação dos resultados calculados. Estas hipóteses são casos de estudo que têm como objetivo analisar a possibilidade de adicionar usos à água residual tratada. A primeira hipótese (R3.1), contempla um reservatório de transição, semelhante a R2, contendo apenas a função de regularizar o caudal devido à transição do fluxo bombado para gravítico. A segunda hipótese (R3.2), contempla um reservatório de carácter de armazenamento e distribuição de água. Estando situado num local de elevada elevação relativa, com proximidade a terrenos agrícolas e à zona estuarina e lagunar da ria, o possível armazenamento de água para irrigação e uso de suporte de ecossistemas, para além da reutilização para uso industrial, pode ser de elevada importância para a sustentabilidade região da ria de Aveiro. Ambas as hipóteses estão acompanhadas de uma torre de pressão, que elevará o nível da coluna de água a uma altura de 15m, tal como demonstrado no perfil longitudinal. Para os seus dimensionamentos, irá ser considerado o caudal de dimensionamento bombado, pois o troço que o precede corresponde ao segundo troço bombado.

O quarto reservatório (R4), tal como R1, é um reservatório de armazenamento, situado a jusante do sistema, no CQE. Para o seu dimensionamento, irá ser considerado o caudal de dimensionamento gravítico, pois o troço que o precede corresponde ao troço gravítico.

Seguindo o procedimento descrito em 3.3.1.3, o passo inicial para o dimensionamento dos reservatórios corresponde ao cálculo do volume mínimo, para cada reservatório. Para tal, definiu-se um fator K, associado à população existente no local, assim como a fatores de risco. A Tabela 14 contempla os valores de volume mínimo dos reservatórios a considerar, tendo estes sido calculados através da Equação 11.

Dado que os volumes mínimos são apenas considerados para assegurar o abastecimento de água a uma população, os reservatórios considerados, à exceção de R3.2 não carecem da necessidade da consideração de volumes mínimos, devido a não servirem como fonte de abastecimento a uma

população (R1 e R4), ou terem apenas uma função de equalização do caudal numa situação pré-bombagem (R2 e R3.1).

Para o caso R3.2, devido aos elevados possíveis consumos de água provenientes do setor agrícola, assim como a possibilidade de abastecimento à população de Estarreja, considerou-se que o uso de água seria superior ao volume necessário para 100 000 habitantes, considerando-se um valor de K igual a 1.

Tabela 14 - Valores do volume mínimo do reservatório R3.2

Reservatório	Q_{dim} (m³/s)	K	V_{min} (m³)
R3.2	0,298	1	25740

Tendo obtido os valores de volume mínimo dos reservatórios, procedeu-se ao cálculo do volume de regularização e volume de emergência, de modo a comparar a sua soma com os valores dos volumes mínimos e obter o volume final a ser considerado, para cada reservatório.

Assim, em primeiro lugar calcularam-se os valores dos volumes de regularização, calculados através da Equação 12. Para R2 e R3.1, devido a serem reservatórios de transição, e não terem como função a acumulação de água por períodos longos, o volume de regularização foi considerado igual ao volume necessário para corresponder ao caudal horário de água do sistema.

Tabela 15 - Valores dos volumes de regularização, associados aos reservatórios do sistema

Reservatório	Q_{dim} (m³/s)	V_{reg} (m³)
R1	0,298	26812,5
R2	0,298	1072,5
R3.1	0,298	1072,5
R3.2	0,298	26812,5
R4	0,199	17660

Seguidamente, procedeu-se ao cálculo do volume de emergência, que tem o valor igual ao máximo valor entre o volume de reparação e o volume de incêndio. De novo, devido ao facto de R2 e R3.1 terem funções de regulação de caudal pré-bombagem e alteração de fluxo bombado para gravítico,

não existe necessidade de se considerar o volume de reparação e volume de incêndio, para os mesmos.

Para o cálculo do volume de reparação, calculado através da Equação 13, é necessário estabelecer um valor para o tempo necessário para uma eventual reparação. Este valor, por norma, encontra-se no intervalo entre 5 e 8 horas. Para efeitos de maximizar o valor do reservatório, de modo a criar um cenário que determine o maior custo possível, determinou-se o tempo de reparação como 8 horas. Deste modo, a Tabela 16 apresenta os valores calculados para os volumes de reparação:

Tabela 16 - Valores dos volumes de reparação, associados aos reservatórios R1, R3.2 e R4

Reservatório	Q_{dim} (m³/s)	t (h)	V_{rep} (m³)
R1	0,298	8	8580
R3.2	0,298	8	8580
R4	0,199	8	5720

Para a determinação dos volumes de incêndio, seguiu-se o procedimento associado aos mesmos, descrito em 3.3.1.3. Caso os reservatórios considerados sejam utilizados como reservatórios de incêndio, deve ser assegurada a qualidade de água necessária, para o respetivo uso, sendo esta assegurada através da existência de tratamento secundário complementado com desinfecção e/ou processos de filtração por membrana.

O reservatório R1 encontra-se na ETAR de Cacia, existindo assim a presença de produtos inflamáveis e explosivos (tais como reservatórios de biogás) classificando a zona como de 5º grau (risco elevado). Assim, o valor do volume de incêndio foi determinado como sendo 500 m³, sendo superior a todas as classes que o precedem, permitindo a disponibilidade de água para emergência relacionadas com incêndios.

O reservatório R3.2 localiza-se na freguesia de Salreu, numa zona que contém habitações, assim como edifícios comerciais. Não se apresentam edifícios com um número muito elevado de pisos, podendo-se classificar a zona como de 3º grau (risco moderado), sendo o valor de volume de incêndio correspondente, igual a 300 m³.

Finalmente, o reservatório R4 encontra-se no CQE, onde existem edifícios comerciais e industriais, assim como armazéns associados a conteúdos inflamáveis e explosivos. Deste modo, esta zona classifica-se como 5º grau (zona de risco elevado), e o volume associado à zona deve ser definido especificamente para a situação. Neste caso, foi considerado um valor igual a 500 m³, sendo este

superior aos valores dos graus que o precedem, de modo a assegurar a disponibilidade de água em caso de emergências associadas a incêndios.

Tendo calculados todos os valores de volumes necessários para a determinação do volume total, através da Equação 14 e a sua consequente comparação com o valor do volume mínimo, a Tabela 17 apresenta os valores finais associados à volumetria dos reservatórios existentes:

Tabela 17 - Valores dos volumes finais, associados aos reservatórios do sistema

Reservatório	V_{reg} (m³)	V_{rep} (m³)	V_{inc} (m³)	V_t (m³)	V_{min} (m³)	V_{considerado} (m³)
R1	26812,5	8580	500	35392,5	-	36000
R2	1072,5	-	-	1072,5	-	1200
R3.1	1072,5	-	-	1072,5	-	1200
R3.2	26812,5	8580	300	35392,5	36000	36000
R4	17660	5720	500	23380	-	23400

Note-se que os valores finais são arredondamentos, por excesso, dos valores determinados através dos cálculos. O motivo para tal relaciona-se com o facto da tabela de custos associados aos reservatórios, apresentar valores predefinidos, até 10 000 m³, sendo o excesso adicionado em valores existentes na mesma. Esta tabela estará disposta em Anexo H.

Obtidos os valores finais dos volumes dos reservatórios do sistema, procedeu-se ao cálculo do investimento financeiro associados aos mesmos. O custo associado a cada reservatório advém de um valor, em €/m³, datados de 2020 (Galvão, 2020). Devido à falta de informação disponível, relativa a custos para reservatórios da dimensão apresentada, para os reservatórios que ultrapassam 10 000 m³ (valor máximo encontrado na referência), o custo por m³ considerou-se igual ao de reservatórios com dimensão de 10 000 m³, apresentado então uma estimativa com uma aproximação por excesso, do valor real do custo dos reservatórios. A Tabela 18 apresenta, então, os valores finais dos custos associados aos reservatórios do sistema:

Tabela 18 - Investimento final associado aos reservatórios do sistema

Reservatório	Volume considerado (m ³)	Custo unitário (€/m ³)	Custo total (€)
R1	36000	127	4572000
R2	1200	225	270000
R3.1	1200	225	270000
R3.2	36000	127	4572000
R4	23400	127	2971800
Total 1 (Com R3.1)	61800	-	8083800
Total 2 (Com R3.2)	96600	-	12385800

4.2.2. Custos operatórios associados aos custos energéticos

Os custos de operação associados aos custos energéticos do sistema, contemplam os custos de funcionamento das estações elevatórias, cujo número e potência foram determinados.

O sistema apresentado engloba duas bombas (inseridas em duas estações elevatórias), B1 e B2, com 95 e 113,05 metros de altura de elevação, respetivamente. Foi realizada uma aproximação, associada ao rendimento das bombas, tendo este rendimento ter sido considerado igual a 85% (rendimento médio a elevado). Foi considerado que as bombas funcionam 90% do tempo, com o caudal médio, e 10% do tempo com caudal de pico, originando um valor de caudal de bombagem igual a

Considerando os dados apresentados, utilizou-se a Equação 16, para o cálculo da potência associada a cada bomba, estando os valores calculados apresentados na Tabela 19:

Tabela 19 - Valores de potência, associados às bombas existentes no sistema

Bomba	Q _B (m ³ /s)	H (m)	η	Pot (kW)
B1	0,157	95	0,85	172,71
B2	0,157	113,05	0,85	205,52

Considerando o valor da potência de cada bomba e um período de funcionamento de 16 horas diárias, calculou-se o consumo energético das duas estações elevatórias do sistema. Para tal, utilizou-se a REN, como referência do preço associado à energia elétrica (REN, 2022). No dia 16 de outubro de 2022, registaram-se os valores do preço médio anual, o preço médio ponderado do mês de outubro de 2022 e o preço médio diário do dia 16 de outubro de 2022, correspondendo estes cenários a 184 €/MWh, 143€/MWh e 103,97€/MWh, respetivamente. Foram considerados os diferentes cenários, de modo a exemplificar as oscilações no preço da energia a que o sistema estará sujeito, e consequentemente os custos associados ao funcionamento do sistema.

Tabela 20 – Custos associados ao consumo energético das estações elevatórias, considerando o preço médio anual da energia elétrica, registado a 16 de outubro de 2022

Bomba	Potência (kW)	Custo energético (€/MWh)	Consumo energético específico (kWh/m³)	Custo específico (€/m³)
B1	172,71	184	0,230	0,043
B2	205,52	184	0,274	0,050
Total	378,23	-	0,504	0,093

Tabela 21 – Custos associados ao consumo energético das estações elevatórias, considerando o preço médio ponderado, da energia elétrica, para o mês de outubro de 2022, registado a 16 de outubro de 2022

Bomba	Potência (kW)	Custo energético (€/MWh)	Consumo energético específico (kWh/m³)	Custo específico (€/m³)
B1	172,71	143	0,230	0,033
B2	205,52	143	0,274	0,039
Total	378,23	-	0,504	0,072

Tabela 22 – Custos associados ao consumo energético das estações elevatórias, considerando o preço médio diário, da energia elétrica, para o dia 16 de outubro de 2022

Bomba	Potência (kW)	Custo energético (€/MWh)	Consumo energético específico (kWh/m³)	Custo específico (€/m³)
B1	172,71	103,97	0,230	0,024
B2	205,52	103,97	0,274	0,029
Total	378,23	-	0,504	0,053

4.2.3. Amortização do investimento total

O somatório dos investimentos, associados aos vários constituintes do projeto está apresentado na Tabela 23:

Tabela 23 - Investimento Final associado à infraestrutura do sistema

Infraestrutura	Investimento (€)
Sistema de tubagens	2 937 866
Estações elevatórias	1 324 097
Reservatórios (caso R3.1)	8 083 800
Reservatórios (caso R3.2)	12 385 800
Total (caso R3.1)	12 345 763
Total (caso R3.2)	16 647 763

Dados os valores calculados para o investimento total, considerou-se uma taxa de juro de 4%, e pagamento anuais, ao longo de um período de 5 anos. Este cenário pode ser considerado um cenário comum.

Assim, seguindo o método de Price, indicado em 3.4, calcularam-se os seguintes valores para a amortização dos dois cenários de investimento final.

Tabela 24 - Valores de juros e amortizações, para o cenário que contempla a construção do reservatório R3.1

Anos	Parcela (€)	Juros (€)	Amortização (€)	Total Devido (€)
0	-	-	-	12 345 763
1	2 773 193	493 831	2 279 363	10 066 401
2	2 773 193	402 656	2 370 537	7 695 864
3	2 773 193	307 835	2 465 359	5 230 505
4	2 773 193	209 220	2 563 973	2 666 532
5	2 773 193	106 661	2 666 532	0
Total pago (€)	13 865 966			

Tabela 25 - Valores de juros e amortizações, para o cenário que contempla a construção do reservatório R3.2

Anos	Parcela (€)	Juros (€)	Amortização (€)	Total Devido (€)
0	-	-	-	16647763
1	3 739 539	665 911	3 073 629	13574135
2	3 739 539	542 965	3 196 574	10377561
3	3 739 539	415 102	3 324 437	7053125
4	3 739 539	282 125	3 457 414	3595711
5	3 739 539	143 828	3 595 711	0
Total pago (€)	18 697 695			

A Erro! A origem da referência não foi encontrada. ilustra o valor de amortização associado a cada metro cúbico de caudal, para períodos de pagamento de 5 e 10 anos, com taxa de juros de 4%, para os cenários com implementação de reservatório R3.1 e R3.2. Note-se que quanto maior o período de

amortização, menores os custos em €/m³. Por outro lado, o aumento do período de pagamento concretizaria um aumento o valor do investimento total, devido à maior acumulação de juros a serem pagos.

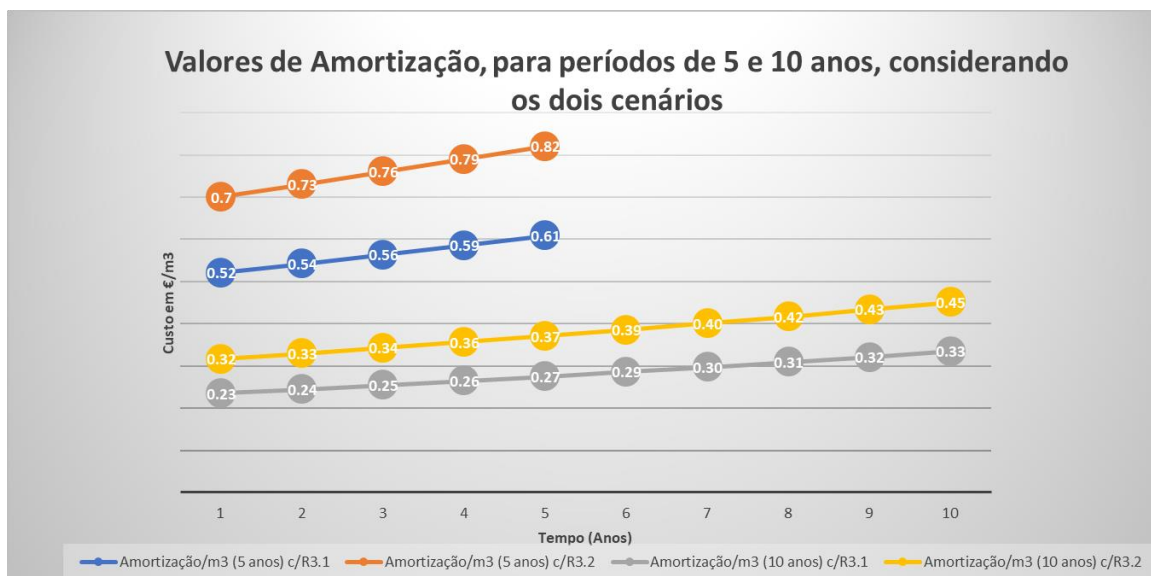


Figura 17 - Valor específico de amortização, para os períodos de 5 e 10 anos, considerando os dois cenários de infraestrutura

4.3. Discussão de resultados

4.3.1. Análise do investimento em equipamento base

O investimento final, associado à infraestrutura do sistema de abastecimento de água, corresponde a 13 865 966 € ou 18 697 695 €, para os cenários em que se consideraram a construção dos reservatórios R3.1 e R3.2, respetivamente. Adicionalmente, os custos operacionais das bombas, não estando a incluir mão-de-obra, variam entre 0.093 €/m³, 0.072 €/m³ e 0.053 €/m³, para os cenários de custos energéticos considerados, resultantes de um consumo energético de 0,504 kWh/m³.

Relativamente ao sistema de tubagens, os valores associados à construção dos mesmos são compatíveis com o esperado, dada a necessidade de existência de uma elevada percentagem do sistema, a ser constituída por troços bombados. Estes troços bombados registam a necessidade de utilização de tubagens com maiores valores de pressão nominal, para o mesmo diâmetro, estando então associada a um aumento de custo. Por exemplo, considerado o troço B2 e G1, embora o primeiro seja mais curto que o segundo, a sua diferença, em termos de investimento financeiro, é a maior. Esta necessidade é incontornável, dada a topografia da região, que não permite o transporte de água de forma gravítica, devido à ausência de diferenças de elevação. Este sistema tem um tempo de vida superior a 50 anos, sendo considerado um investimento a longo prazo, tornando-se o investimento considerado mais justificado (Matos et al., 2020).

A instalação de estações elevatórias (assim como o seu funcionamento), contemplam a menor parte do investimento total do projeto, enquadrando-se dentro de valores regulares de projetos de

abastecimento de água. As estações elevatórias têm um tempo de vida médio de 50 anos, sendo considerado um investimento a longo prazo, tornando o investimento mais justificado (Matos et al., 2020).

Deve ser também considerado que, dada a topografia da região, os custos associados ao funcionamento de estações elevatórias, eram previsíveis, e inevitáveis. Dadas as baixas diferenças de elevação do terreno, a necessidade da existência de troços bombados, em detrimento de troços gravíticos, que não têm custos energéticos associados, era expectável, sendo este investimento, um valor que, embora elevado, é incontornável, dada a sua localização.

Verifica-se, finalmente, que o grande investimento associado a este projeto é relativo à construção de reservatórios que possibilitem o armazenamento de caudais tão elevados, como os considerados. Por um lado, este investimento é de carácter único, não considerando a manutenção dos reservatórios, sendo esta esporádica. Assim sendo, dado o período de vida de um reservatório semelhante (em média, 50 anos (Bufon et al., 2009)), e repartindo o investimento por essa duração, este pode ser considerado um investimento a longo prazo, cuja atividade e funcionamento compensarão o valor investido.

Por outro lado, a metodologia aplicada não considerou a existência atual de reservatórios, tanto a montante como a jusante do sistema. Existindo esses reservatórios, o valor associado aos reservatórios R1 e R4 podem ser menores do que os apresentados, e até desprezados, caso existam reservatórios que consigam acomodar os volumes de água calculados.

Outro cenário que diminui o investimento necessário para a implementação do projeto, é a preferência do cenário que contemple a implementação do reservatório R3.1, devido à diferença de valor existente entre os dois casos de R3. Limitando a utilidade do sistema, caso não seja considerada a possibilidade de utilização de água para qualquer outro usos, à exceção do uso industrial, conseguem-se poupar cerca de 4.8 milhões de euros, servindo o reservatório R3.1, apenas para equalização de pressão, no caudal.

Dado o valor do investimento apresentado, considera-se a implementação de um projeto semelhante ao considerado, um grande desafio, mas com repercussões positivas a médio e long prazo, contribuindo para a circularidade do uso da água no CQE. É assim necessário avaliar estratégias e apoios que possibilitem uma mais acessível implementação do projeto que pode ser estendido faseadamente a outras atividades na região, como a agricultura ou a manutenção de áreas sensíveis como a BioRia envolvendo os parceiros sociais da região.

No cenário de reutilização de cerca de 25% do caudal afluente à ETAR de Cacia, para o CQE, o que apresenta maior viabilidade económica é o que contempla a implementação do reservatório R3.1, dada a diferença entre os valores de investimento necessário.

4.3.1.1. Estratégias de amenização de custos

Dado o elevado investimento necessário para a execução do projeto, a exploração de oportunidades associadas a fundos monetários, especialmente aqueles relacionados com a área do ambiente e

sustentabilidade, pode facilitar a sua implementação. Tratando-se de um projeto relacionado com a reutilização de água, conservação e proteção de fontes hídricas (rio Antuã), assim como a promoção de um futuro mais sustentável associado à circularidade de recursos, a procura de apoios monetários, tanto nacionais como a nível da UE, teve como foco as áreas mencionadas.

Em primeiro lugar, dada a localização geográfica do projeto, a inclusão da participação dos dois concelhos que partilham o sistema (Aveiro e Estarreja), pode providenciar apoio, de origem monetária e política, para o facilitamento da implementação. A natureza ambientalmente sustentável do projeto, a promoção de práticas de informação, e sensibilização sobre a sustentabilidade da água e economia circular, pode ser força-motriz para a criação de apoios e campanhas que motivem a implementação deste projeto, incluindo postos de trabalho.

Uma segunda possibilidade de apoio monetário, de origem nacional, associado à área do ambiente, é o Fundo Ambiental (aglomeração dos antigos Fundo Português de Carbono, Fundo de Intervenção Ambiental, Fundo de Proteção dos Recursos Hídricos e Fundo para a Conservação da Natureza e da Biodiversidade) , criado ao abrigo do Decreto-Lei n.º 42-A/2016, de 12 de agosto, que tem como objetivo, *“apoiar políticas ambientais para a prossecução dos objetivos do desenvolvimento sustentável, contribuindo para o cumprimento dos objetivos e compromissos nacionais e internacionais, designadamente os relativos às alterações climáticas, aos recursos hídricos, aos resíduos e à conservação da natureza e biodiversidade”* (DRE, 2016). Com este objetivo, o Fundo financia entidades, atividades ou projetos associados a várias áreas relacionadas com a sustentabilidade, sendo duas delas o *“uso eficientes da água e proteção dos recursos hídricos”* e *“sustentabilidade dos serviços de águas”* (Ministério do Ambiente, 2022), sendo, deste modo, compatível com as temáticas abrangidas por este projeto.

Um exemplo da aplicação do Fundo Ambiental, a ser aplicado este ano, é a dotação de 200 milhões de euros para a mitigação da escassez hídrica do Algarve, Alentejo e Madeira, dados os episódios de seca verificados. Este investimento é composto por submedidas, entre as quais o reforço da governança associada aos recursos hídricos, e promoção do uso de água residual tratada, temáticas semelhantes às do projeto apresentado, verificando-se um precedente temático para a compatibilização do Fundo Ambiental com o tipo de projeto mencionado.

As candidaturas ao Fundo Ambiental, são feitas através do Ministério do Ambiente, corpo que, embora o Fundo seja gerido independentemente, coordena a ação e define objetivos do mesmo.

Um terceiro exemplo de possível apoio financeiro, é o Fundo de Coesão, um fundo associado à UE, que financia projetos relacionados com sustentabilidade ambiental, nomeadamente desenvolvimento e energias renováveis, e redes transeuropeias de transportes (Comissão Europeia, 2021). Em especial, este fundo está apenas disponível para projetos pertencentes a estados-membros cujo rendimento nacional bruto, per capita, é inferior a 90% da média da UE, sendo que Portugal pertence a este grupo de países.

Para o período de 2021-2027, foram alocados, a Portugal, 3 946 milhões de euros, para projetos que cujas áreas de impacto estejam abrangidas pela missão do fundo de coesão, sendo que, para o período

referido, as temáticas com prioridade correspondem à economia ecológica, hipercarbónica e circular, e a conectividade dentro da Europa, podendo atingir uma taxa de cofinanciamento equivalente a 85% do valor dos projetos.

O exemplo final, é o FEDER, que através de financiamento de projetos, contribui para uma redução dos desequilíbrios de desenvolvimento, entre regiões da Europa, e promove o melhoramento da qualidade de vida, nas mesmas (Comissão Europeia, 2022). As temáticas abrangidas sob o FEDER, são semelhantes às do Fundo de Coesão, observando-se um maior foco no apoio à inovação, à economia digital e às pequenas e média empresas. Sendo este projeto, um projeto inovador, no contexto nacional, existe compatibilidade temática entre o mesmo e o FEDER, havendo a possibilidade de uma candidatura a apoios financeiros.

Embora a estrutura e objetivos de ambos os fundos europeus, seja definida em Parlamento Europeu, em Portugal, a entidade gestora do Fundo de Coesão e FEDER, é o COMPETE 2020, com o qual se podem registar candidaturas, e ter acesso a oportunidades de apoio monetário a projetos de inovação.

Considerando taxas de cofinanciamento de 50% e 85%, estas corresponderiam aos valores de cofinanciamento e de investimento próprio, apresentado na Tabela 26.

Tabela 26 - Cenários de cofinanciamento, de 50% e 85%, por parte de fundos nacionais ou internacionais

Cofinanciamento	Cofinanciamento (c/ R3.1) (€)	Investimento Próprio (c/R3.1) (€)	Cofinanciamento (c/ R3.2) (€)	Investimento Próprio (c/R3.2) (€)
50%	6 172 882	6 172 882	8 323 882	8 323 882
85%	10 493 899	1 851 865	14 150 599	2 497 165

4.3.2. Análise ambiental do sistema

4.3.2.1. Compatibilidade com objetivos nacionais

A implementação de um projeto de recirculação de água, tal como o apresentado, corresponde ao cumprimento de diversos objetivos, definidos a nível nacional, tanto em legislação, como em planos de gestão de território.

De uma forma geral, os objetivos de sustentabilidade hídrica, em Portugal, têm uma elevada correlação com aqueles definidos sob a DQA. Dentro da mesma, os objetivos relevantes à implementação do projeto apresentado, são *“Evitar a continuação da degradação e proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos e também dos ecossistemas terrestres e zonas húmidas diretamente dependentes dos ecossistemas aquáticos, no que respeita às suas necessidades de água”* e *“Promover uma utilização sustentável de água, baseada numa proteção a longo prazo dos recursos hídricos*

disponíveis” (Parlamento Europeu, 2000). O primeiro é atingido através da diminuição da interferência antropogénica no caudal do rio Antuã, através da diminuição das captações de água, para uso industrial, promovendo o fluxo natural do rio até às zonas estuarinas, de sapal, e caniçal, de modo a preservar o funcionamento natural dos ecossistemas existentes. O segundo objetivo é alcançado através da criação de circularidade no uso de água, de modo que se possam preservar os recursos hídricos naturais, assegurando a disponibilidade de água como recurso, para os setores de atividade que necessitem da mesma.

Por outro lado, o projeto apresentado, estando situado na região hidrográfica 4, deve corresponder aos objetivos de planeamento, ordenamento e sustentabilidade, presentes no PGBH do rio Vouga, Mondego e Lis.

O PGBH, define como alguns dos problemas existentes na região, a *“Perda de biodiversidade associada à intervenção nos caudais (...)”*, e *“Artificialização de linhas de água e alteração aos regimes hídricos naturais, potenciando erosão e cheias”* (Ribeiro, 2012).

Abordando, em primeiro lugar, a problemática da perda de biodiversidade, deve ser considerado que, a instalação de um sistema de recirculação de água, tal como o apresentado, irá diminuir as pressões hídricas, do rio Antuã (onde são atualmente realizadas as captações de água, por parte do CQE), devido à diminuição de caudal necessário a ser extraído do rio, sendo parte das necessidades de água, da empresa, satisfeitas através de ApR. Reduzindo as captações de água do rio, os riscos associados à perda de fauna e flora, conseqüentemente diminuem, sendo esta uma medida que contribui para a preservação da biodiversidade da região. Do mesmo modo, a instalação do sistema de recirculação de água, contribui para o combate da segunda problemática apontada, relacionada com a artificialização de linhas de água e alteração aos regimes hídricos naturais. O reaproveitamento de águas residuais leva à menor necessidade de exploração dos regimes hídricos naturais, beneficiando da circularidade do recurso em questão. Assim, um projeto como o descrito, promove a parte da resolução de problemas associadas a esta temática.

Por outro lado, o PGBH identifica também oportunidades, com o qual o projeto apresentado se pode relacionar. Em primeiro lugar, é mencionada a *“(...) gestão dos recursos hídricos associada à gestão das paisagens, valorizando a sua diversidade”* (Ribeiro, 2012), sendo esta de acrescida importância, dada a variedade de paisagens existentes, na zona da ria de Aveiro. O projeto apresentado origina uma diminuição de captações de água, no rio Antuã, sendo que esta seguirá o seu percurso até à zona estuarina, de sapal ou caniçal, contribuindo para o desenvolvimento e funcionamento dos ecossistemas existentes, preservando o valor ambiental e cultural, associado à existência dos mesmos.

Outra oportunidade mencionada, é a possibilidade de *“Implementação de sistemas para o uso sustentável da água, principalmente em atividades de utilização intensiva, como é o caso da agricultura”* (Ribeiro, 2012). O projeto apresentado já constitui, por si só, um sistema que tem como objetivo o uso sustentável da água, e embora, o uso primário de água seja industrial, o cenário que contempla a construção de um reservatório de abastecimento, a meio do sistema, possibilita a exploração de

possibilidades de utilização de ApR, para fins agrícolas, correspondendo assim à oportunidade descrita no PGBH.

Relativamente aos objetivos estratégicos, definidos no PGBH, presentes no Anexo B, o projeto apresentado pode ser considerado compatível, em especial com os objetivos definidos sob as áreas temáticas AT1 – Qualidade da Água, AT2 – Quantidade da água e AT3 – Gestão de riscos e valorização do domínio hídrico.

Considerando a AT1, o sistema de recirculação de água corresponde ao objetivo temático de *“Garantir a proteção das origens de água e dos ecossistemas de especial interesse, incluindo a manutenção de um regime de caudais ambientais e, em particular, de caudais ecológicos”* (Ribeiro, 2012), devido à conservação dos caudais naturais existentes no rio Antuã, ao diminuir as captações de água no mesmo.

A AT2, por outro lado, contempla um objetivo associado a *“Promover e incentivar o uso eficiente da água, por forma a assegurar a quantidade para os diversos usos, contribuindo para melhorar a oferta e para gerir a procura”* (Ribeiro, 2012). Considerando que o projeto apresentado promove a circularidade e reutilização dos recursos hídricos, da região, este torna-se compatível com assegurar a disponibilidade de água, para outros fins, assim como o uso eficiente da mesma.

Observando a AT3, encontram-se dois objetivos, que vão ao encontro com a implementação do projeto apresentado, sendo estes *“Reforçar e promover a proteção, valorização e regularização da rede hidrográfica e da orla costeira”* e *“Fomentar o ordenamento dos usos e ocupações do domínio hídrico, articulando o planeamento e ordenamento do domínio hídrico com o ordenamento do território, promovendo o licenciamento e controlo dos usos do domínio hídrico e a valorização económica dos recursos compatíveis com a preservação dos meios hídricos”* (Ribeiro, 2012). O primeiro objetivo, é compatível com o a implementação do sistema apresentado, dado que a diminuição da quantidade de captações, em virtude da circularidade do sistema, promove a proteção da rede hidrográfica. Por outro lado, o licenciamento de ApR, para este sistema, pertence ao objetivo de planeamento e ordenamento do domínio hídrico, e promove a proteção dos recursos hídricos através da valorização económica do mesmo, sendo esta última feita através da possibilidade de reutilização da água, substituindo o sistema de uso singular, existente atualmente.

O projeto apresentado encontra-se ainda em conformidade com alguns dos objetivos ambientais, definido no PGBH, presentes no Anexo C, estando estes incluídos na temática de águas superficiais. Os objetivos ambientais em questão correspondem a *“evitar a deterioração do estado de todas as massas de água superficiais”* e, *“proteger, melhorar e recuperar todas as massas de água, com exceção das massas de água artificiais e fortemente modificadas, com o objetivo de alcançar o bom estado”* (Ribeiro, 2012). Estes objetivos são alcançados através da preservação do caudal do rio Antuã, diminuindo as interferências antropogénicas existentes, na forma de captações de água.

4.3.2.2. Compatibilidade com objetivos internacionais

Quando considerando as problemáticas definidas no REA, associadas à temática da água, observa-se que um dos setores a ser considerado, se relaciona com as captações de água e pressões causadas

em corpos de águas superficiais. Dado que cerca de 18% das captações existentes na UE são associadas à indústria e atividades mineiras, e 40% correspondem às necessidades agrícolas da mesma, a necessidade de projetos de inovação, associados à diminuição das captações de água, é de extrema importância para assegurar a sustentabilidade do domínio hídrico, da Europa (EEA, 2020).

Outra grande referência, relativos a objetivos de sustentabilidade, são os ODS, a ser atingidos até 2030. Em específico, o ODS 6 – Água potável e Saneamento (ODS, 2015), é o objetivo que mais se aproxima aos objetivos associados ao projeto apresentado. Deste modo, os subobjetivos que se relacionam com a instalação do sistema apresentado são os seguintes:

- Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência no uso da água em todos os setores e assegurar extrações sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água. Este subobjetivo relaciona-se com o projeto apresentado, através da promoção de uso eficiente da água como recurso. Através da criação de um sistema circular que conserve a água como recurso e promova a sua reutilização, a eficiência do uso de água como recurso é aumentada.
- Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos, a todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado. A implementação de projetos, tais como o apresentado, contemplam o cumprimento de objetivos definidos a nível de planos e programas nacionais, assim como a nível da legislação que os engloba.
- Até 2030, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas húmidas, rios, aquíferos e lagos. Através da proteção do caudal do rio Antuã, promove-se a proteção dos ecossistemas encontrados a jusante, sendo estes dependentes da água providenciada pelo rio, e sendo alguns deles de natureza sensível, tornado a sua proteção de ainda maior importância.
- Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento. A implementação do projeto apresentado representa uma oportunidade de educação e sensibilização da comunidade local, para a sustentabilidade dos recursos hídricos da região e a necessidade da preservação da água como recurso, assim como para a educação para a importância de saneamento, e as oportunidades associadas à otimização desse setor.

4.3.2.3. Proteção de zonas sensíveis

Como mencionado previamente, a implementação de um projeto de reutilização de água, na zona da ria de Aveiro, promove a proteção e conservação da mesma, e dado o facto de esta ser uma zona ambientalmente sensível, protegida sob a Rede Natura 2000 e Convenção de Ramsar.

Em primeiro lugar, deve-se ter em conta a preservação do caudal do rio Antuã, que desagua na ria de Aveiro, sendo uma fonte importante de água, para a mesma. Dada a prevalência de ecossistemas aquáticos, na ria de Aveiro, e tendo em conta os cenários de seca prolongada, registados na última década, associados a extremos de temperatura e diminuição de precipitação (IPMA, 2022), exemplificados na Figura 18, através da diferença percentual de precipitação entre os períodos 1971-

2000 e 2071-2100, para os cenários em que as emissões antropogénicas atingem um pico em 2040 (RCP 4.5) e em que as emissões antropogénicas continuam a aumentar ao longo do século (RCP 8.5), a necessidade de conservação dos recursos hídricos da região, é cada vez superior. Deste modo, a redução de captações de água do rio, relacionadas com o aumento da circularidade da água, irá promover a proteção dos ecossistemas aquáticos existentes na ria, alguns deles característicos da região e que estão associados à designação da mesma como pertencente à Rede Natura 2000.

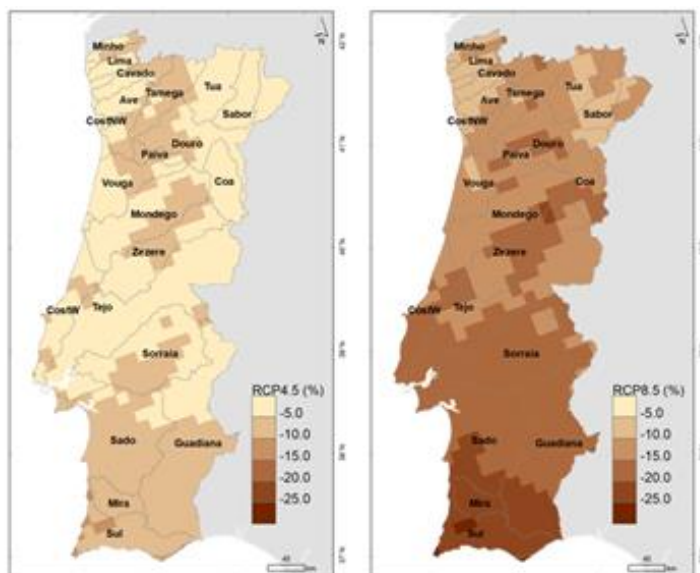


Figura 18 - Diferença percentual de precipitação anual para o período 2071-2100, em Portugal Continental, comparado com os valores médios 1971-2000, para cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (IPMA, 2022).

Por outro lado, existe a possibilidade da reintrodução de parte do caudal de água reciclada, na região da ria de Aveiro, como estratégia de preservação e conservação da zona, assim como proteção da mesma em épocas de seca prolongada ou de escassez de água. Considerando a elevada existência de ecossistemas aquáticos e dependentes de água, na região da ria de Aveiro, a promoção de estratégias e ações com o objetivo de manter e assegurar a presença e fornecimento de água à zona da ria, pode ser determinante na capacidade de resiliência da mesma, face à presença de fenómenos meteorológicos extremos, agravados pelas alterações climáticas, tal como os exemplificados pela Figura 18. Deste modo, para além da conservação dos caudais que desaguam na ria, como mencionado acima, a reintrodução de água nos ecossistemas estuarinos, de sapal ou caniçal, constitui uma estratégia de preservação dos habitats naturais da região. Garantida a qualidade necessária para a sua reutilização, sob as normas de qualidade de usos urbanos, em especial, de suporte de ecossistemas, apresentadas no Anexo F, a água proveniente da ETAR de Cacia pode constituir uma reserva de emergência para a conservação de zonas de importância ambiental, tanto a nível nacional como global, dada a atribuição de estatutos de Rede Natura 2000, à região, e também à presença de um sítio Ramsar (Pateira de Fermentelos e vale dos rios Águeda e Cértima).

4.3.2.4. Reutilização de água

A implementação do projeto apresentado, contempla a possibilidade da reutilização de águas residuais, após o seu tratamento, na ETAR de Cacia, tornando-as, assim, ApR.

Para tal, em primeiro lugar, deve-se considerar o licenciamento da ApR, de modo que esta possa ser produzida e utilizada. Considerando que a produção de ApR seria feita na ETAR de Cacia, e correspondendo esta a um sistema centralizado, devido a ser um sistema de tratamento de águas residuais abrangido pelo Decreto Lei nº 152/97 (Ministério do Ambiente, 1997), de 19 e Junho, gerido por uma única entidade (Águas do Centro Litoral), a ETAR pode-se candidatar a uma licença de produção de ApR, e esta permite-lhe, para além da produção e utilização de ApR, a cedência a terceiros da mesma (DRE, 2019). A condição para a cedência de ApR, é a obtenção de uma licença de utilização, por parte das entidades que pretendam utilizar as ApR, produzidas na ETAR de Cacia.

Para a emissão do licenciamento, a produção e utilização da ApR produzida, deve estar sujeita a uma análise de riscos. Sendo o caso considerado, um sistema centralizado, a avaliação de risco deve ter em conta a utilização final das mesmas, caso esteja a ser considerado o uso por parte da ETAR, e/ou a avaliação de risco efetuada desde o ponto de entrega de ApR a uma entidade externa, até a sua utilização final, caso esta seja cedida a terceiros (DRE, 2019). A avaliação de risco deve ser elaborada pela APA, apresentando também os valores de caução a ser pagos, caso seja emitida a licença. Considerando o caudal desejado (500m³/h) de ApR, o valor de caução a ser pago estará entre os 2625€ e 9625€ (12 000 m³/dia) (APA, 2019).

Deve então ser considerada uma abordagem *fit-for-purpose* (que seja adequada e moldada a cada situação individual) de utilização de ApR, de modo a mais eficientemente corresponder às normas de qualidade associadas ao uso específico da água, proveniente da ETAR de Cacia (APA, 2019).

A primeira hipótese a considerar, sendo ela a base para a elaboração desta dissertação, é o uso industrial da ApR, por parte do CQE. Deve-se ainda considerar que, dentro deste caso, existem dois cenários, correspondentes à presença do reservatório R3.1 e R3.2, havendo casos em que existe utilização total da ApR, por parte do complexo químico, e casos em que parte do caudal é utilizado para outros usos. Neste caso, embora a qualidade mínima da ApR, tal como exemplificada no Anexo G, seja apenas considerando o contacto humano, a qualidade necessária para a sua utilização dentro do complexo industrial, necessitará de ser adequada às atividades existentes no mesmo, sendo estas variadas e dependentes do setor de atividade (APA, 2019). Considere-se então o setor de atividade de indústria química.

A utilização de água pela indústria química requer uma elevada qualidade da mesma, sendo que o tratamento secundário, apresentado pela ETAR de Cacia, não será suficiente para assegurar a qualidade necessária para a utilização de ApR. Deste modo são propostas as seguintes alternativas para atingir os padrões de qualidade de água necessários, para a utilização da ApR, produzida pela ETAR de Cacia, nos processos de indústria química:

- Introdução de um sistema de nanofiltração, na ETAR de Cacia – A nanofiltração consiste num processo de separação sólido líquido, permitindo a remoção de partículas até 1 nm de diâmetro. Deste modo, a implementação deste sistema, permitiria a remoção de microrganismos, metais pesados, amoníaco, e outros compostos, que possam não ser efetivamente eliminados, dado o nível de tratamento apresentado atualmente na ETAR de Cacia.
 - Benefícios:
 - Redução da concentração de sais, metais pesados e nitratos e sulfatos, possibilitando o uso da ApR para usos industriais (à exceção de casos que necessitem a eliminação de iões monovalentes);
 - Possibilidade de automatização do processo, assim como da sua limpeza, tornando a intervenção manual apenas necessária para efeitos de troca de membranas (EMIS, 2010).
 - Sistema compacto, não requerendo um espaço de grandes dimensões para ser operado;
 - Longo período de vida (LennTech, 2022);
 - Possibilidade de utilização da ApR para usos urbanos ou rega, devido à presença de minerais como cálcio e magnésio (Safe Drinking Water Foundation, 2010);
 - Problemáticas associadas:
 - Custos energéticos mais elevados, quando comparados com os atuais;
 - Custos, associados a membranas, mais elevado quando comparados com os atuais e até quando comparados com uma osmose inversa (EMIS, 2010);
 - Caso a ApR necessária para utilização industrial necessite de remoção de iões monovalentes, o tratamento será insuficiente;
 - As membranas de nanofiltração são sensíveis ao cloro livre. Caso haja uma elevada concentração de cloro, a nanofiltração deve suceder a uma decoloração (EMIS, 2010).
 - Necessidade da presença de pré-tratamento (microfiltração) (Puretec, 2022)
 - Necessidade de tratamento do concentrado.
- Introdução de um sistema de osmose inversa, na ETAR de Cacia – Um processo de osmose inversa é caracterizado pela utilização de uma membrana semi-permeável para a filtração de partículas, de diâmetros inferiores àqueles filtrados através de um processo de nanofiltração, purificando a água, de forma a remover todos os iões presentes, deixando apenas água pura. A implementação deste processo, na parte terminal do tratamento de águas residuais da ETAR de Cacia, permitirá que a água transportada até ao CQE contemple já uma qualidade elevada.
 - Benefícios:
 - Purificação da água;
 - Sistema de fácil manutenção e limpeza (Membracon, 2022);
 - Operação simples;

- Sistema compacto;
- Problemáticas associadas:
 - Impossibilidade de utilização de qualquer parte do caudal para efeitos de rega, devido à desmineralização e desionização da água, tornando-a um meio hipotónico, prejudicial ao cultivo. Para a utilização de água pós osmose inversa, para efeitos potáveis ou de rega, deve-se proceder a uma remineralização, de modo a fornecer à ApR os conteúdos necessários e adequados ao seu consumo para esses usos.
 - Elevados custos associados à energia necessária para o funcionamento da unidade de osmose inversa, caindo estes sobre a responsabilidade dos operadores (ETAR de Cacia).
 - Necessidade da presença de pré-tratamento (microfiltração) (Puretec, 2022);
- A opção final seria a implementação de um processo semelhante àquele implementado em Tarragona, descrito em 2.4. Dado o contexto semelhante, a aplicação dos mesmos processos complementares de tratamento de água, seria uma possibilidade a considerar, dado o sucesso registado no Complexo Petroquímico de Tarragona.

Devido à especificidade das características associadas ao processo de osmose inversa, assim como os seus custos elevados, este tratamento deve ser feito apenas para utilizações específicas, e *in situ*, havendo também a possibilidade de localizar a unidade de osmose inversa a jusante do sistema, apenas para uso do CQE.

Por outro lado, considerando o cenário correspondente à presença do reservatório R3.2, e havendo um armazenamento de água intermédio, abrem-se possibilidades relacionadas com uma maior versatilidade de usos da ApR, sobressaindo as duas hipóteses já abordadas anteriormente que são de uma maior relevância, dado o contexto geográfico: uso agrícola, para efeitos de rega; e reintrodução de água na região da ria de Aveiro, para efeito de preservação e conservação de zonas protegidas.

Tomando em primeiro lugar, a hipótese de uso de ApR para efeitos agrícolas, os padrões de qualidade água, associados a esta utilização de ApR, estão dispostos no Anexo E, havendo a necessidade da verificação de normas de qualidade de água para reutilização para rega e proteção das culturas agrícolas, florestas e solos. Deste modo, a ApR produzida na ETAR de Cacia pode corresponder aos seguintes usos (APA, 2019):

- Classe A: Rega sem restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, jardins públicos sem restrição de acesso, e jardins privados – Existe a necessidade de tratamento mais avançado que secundário, consistindo em tratamento secundário complementado por filtrações por membrana e desinfecção. Dada inexistência de processos de filtração por membranas e/ou desinfecção, a ETAR é incapaz de produção de água de Classe A;
- Classe B: Rega com restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não

destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo, exceto suínos; jardins com restrição de acesso, incluindo áreas de lazer e desportivas (e.g., campos de golfe) - Existe a necessidade de tratamento mais avançado que secundário, consistindo em tratamento secundário complementado por filtrações por membrana e desinfecção. Dada inexistência de processos de filtração por membranas e/ou desinfecção, a ETAR é incapaz de produção de água de Classe B;

- Classe C: Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em direto contacto com a água; rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos - Existe a necessidade de tratamento mais avançado que secundário, consistindo em tratamento secundário complementado por desinfecção. Dada inexistência de processos de desinfecção, a ETAR é incapaz de produção de água de Classe C;
- Classe D: Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes, incluindo sementes para uso industrial ou produção de energia - Existe a necessidade de tratamento mais avançado que secundário, consistindo em tratamento secundário complementado por desinfecção. Dada inexistência de processos de desinfecção, a ETAR é incapaz de produção de água de Classe D;
- Classe E: Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes; rega de áreas de uso restrito (e.g., sebes, áreas de contenção (prados em socialcos) – Existe a necessidade de um sistema de lagunagem, para tratamento de águas residuais, ou um sistema que garanta um tratamento equivalente ou superior. Dadas as condições de tratamento de águas residuais, existentes na ETAR de Cacia, a ApR apresenta qualidade suficiente para esta função;

Deste modo, avaliadas as classes de água que podem ser produzidas, na ETAR de Cacia, esta apenas se encontra capaz de produção de água de Classe E, para rega com restrição de acesso, para produção de sementes, e rega de áreas de uso restrito. Caso seja implementado um sistema de filtração por membranas (micro/ultra/nanofiltração), ou de desinfecção (por radiação UV ou ozonização, por exemplo), o sistema tornar-se-ia capaz de produzir todas as classes de água consideradas, dentro dos usos agrícolas de ApR.

Considerando também a utilização de água, na região da ria de Aveiro, para efeito de preservação e conservação de zonas protegidas, esta está inserida dentro de usos urbanos de ApR, dentro da categoria de suporte de ecossistemas, havendo a necessidade de existência de tratamento secundário, ou mais avançado que secundário, correspondendo a um tratamento secundário, complementado com desinfecção e possível remoção de azoto e fósforo. Deve ser ainda verificado o Anexo E, que contém uma tabela que se refere à presença de metais pesados, de modo a determinar a qualidade de água para proteção de culturas agrícolas, florestas e solos. Dada a existência de tratamento secundário, a ETAR de Cacia apresenta o tratamento mínimo necessário para a utilização da sua ApR para efeitos

de suporte de ecossistema, e conseqüentemente para a reinserção de caudais de ApR em ecossistema que sofram de escassez de água.

Deve ainda ser considerada a possibilidade de, embora o sistema de abastecimento apresentado esteja dimensionado para a totalidade de ApR considerada inicialmente ser encaminhada para o CQE, haver utilização de ApR produzida para efeitos urbanos (suporte de ecossistemas, lavagem de ruas, enchimento de autoclismos, lavagem de equipamentos de recolha de resíduos sólidos urbanos, lavagem de veículos, usos recreativos de enquadramento paisagístico, combate a incêndios, águas de arrefecimento, outros) (APA, 2019). Nesse caso, a qualidade necessária para esta utilização de ApR está descrita no Anexo F. Tendo em conta o nível de tratamento existente na ETAR de Cacia, a ApR produzida pode ter as seguintes funções:

- Suporte de Ecossistemas - Devido a existir um tratamento secundário, a ApR apresenta qualidade suficiente para esta função;
- Usos recreativos, de enquadramento paisagístico – Existe a necessidade de tratamento mais avançado que secundário. Dada inexistência de processos de filtração por membranas e/ou desinfecção, que complementem o tratamento secundário, a ETAR é incapaz de produção de água para este tipo de uso;
- Lavagem de ruas – Dada inexistência de processos de filtração por membranas e/ou desinfecção, que complementem o tratamento secundário, a ETAR é incapaz de produção de água para este tipo de uso;
- Água de combate a incêndios – Dada inexistência de processos de filtração por membranas e/ou desinfecção, que complementem o tratamento secundário, a ETAR é incapaz de produção de água para este tipo de uso;
- Águas de arrefecimento – Dada inexistência de processos de filtração por membranas e/ou desinfecção, que complementem o tratamento secundário, a ETAR é incapaz de produção de água para este tipo de uso;
- Autoclismos – Dada inexistência de processos de filtração por membranas e/ou desinfecção, que complementem o tratamento secundário, a ETAR é incapaz de produção de água para este tipo de uso;
- Lavagem de veículos Dada inexistência de processos de filtração por membranas e/ou desinfecção, que complementem o tratamento secundário, a ETAR é incapaz de produção de água para este tipo de uso;

Deste modo, estando sujeito a uma avaliação de risco e presença de licenciamento, a ETAR de Cacia não está preparada para a produção e cedência de ApR, para efeitos de uso urbano, à exceção de suporte de ecossistemas.

Finalmente, para cada caso especificado, devem ser implementados plano de monitorização, de modo a garantir a segurança da implementação de projetos como o apresentado. Estes devem considerar a proteção da saúde humana (incluindo indicadores microbiológicos como carência bioquímica de oxigénio (CBO₅), sólidos totais em suspensão (SST), turvação, cloro residual, *E. Coli*, entre outros), dos

recursos hídricos (considerando o estado das massas de água, carga orgânica, nutrientes, entre outros), da vegetação e dos solos (considerando indicadores como nutrientes, sais solúveis, sódio, matéria orgânica, e metais pesados), assim como a preservação do próprio sistema (APA, 2019).

5. Conclusão

Dado o trabalho apresentado nos capítulos anteriores, observa-se a possibilidade real da implementação do projeto de recirculação de 12 000 m³/dia de água residual tratada, que dependente do cenário a considerar, necessita de um investimento base em equipamento de 13 866 k€ ou 18 698 k€, acrescidos de consumos energéticos de transporte de 0,504 kWh/m³, que nos cenários considerados originam custos de 0,053 €/m³, 0,072 €/m³ e 0,093 €/m³.

Considerando o dimensionamento realizado, obteve-se um sistema de abastecimento de água, proveniente do tratamento de águas residuais, na ETAR de Cacia, que termina no CQE. Este sistema abastece o CQE com 12 000 m³/dia e é composto por 15767,56 m de tubagens, dividido em 3 troços, dois bombados e um gravítico, com 6093,87 m, 4525,92 m e 5147,77 m, respetivamente. A totalidade do sistema é composta por tubagens com DN igual a 0,63 m, havendo variações de PN, dependendo da elevação da coluna de água e troço considerado, sendo esta variação entre PN12,5, PN10, PN6 e PN5.

O sistema é também constituído por 2 estações elevatórias, uma a montante do sistema, que inicia o fluxo de ApR, pelo sistema de tubagens, elevando a água 95 m, contendo uma potência de 172,71 kW, e outra que separa os troços B1 e B2, aos 6093,87 m, que eleva a água 113,05 m, que observa uma potência de 205,52 kW. Ambas as estações elevatórias registam uma eficiência de 85%.

O sistema contempla também a construção de 4 reservatórios. O reservatório R1 localiza-se a montante do sistema, pré bombagem, e tem funções de armazenamento e abastecimento de água, para o sistema, observando a necessidade de permitir 36 000 m³ de água. O reservatório R2, localiza-se imediatamente antes da segunda estação elevatória, sendo este um reservatório de transição, que equaliza a pressão do caudal das tubagens, e verifica 1200 m³ de volume. O terceiro reservatório localiza-se imediatamente antes do troço gravítico, no final do troço B2 e regista duas possibilidades. A primeira é a introdução de um reservatório de transição, R3.1, igual a R2, de modo a equaliza o caudal, e facilitar a transição de troço bombado para gravítico. Neste caso o reservatório R3.1 seria das mesmas dimensões de R2. A segunda possibilidade é a construção de um segundo reservatório de abastecimento, R3.2, de 36 000 m³, que possibilite a utilização da água transportada para outras localizações, de forma a proporcionar à ApR uma maior variedade de usos, incluindo usos urbanos, e rega. Ambos R3.1 e R3.2, são acompanhados por uma torre de pressão de 15 m, que eleve a coluna de água. Por fim, observa-se a necessidade de um reservatório de abastecimento, R4, a jusante do sistema, com 23 400 m³, que armazena a água do sistema, e o distribui dentro do CQE.

Finalmente, o sistema é complementado com válvulas e medidores de pressão e caudal, de modo que o sistema esteja compatível com a legislação definida no Decreto Regulamentar 23/95, de 23 de agosto.

Contemplando o segundo objetivo desta dissertação, que envolve a determinação do investimento financeiro associado à implementação do sistema dimensionado, observou-se a necessidade de investimentos de 13 865 966 €, para o cenário que contempla a instalação do reservatório R3.1, e 18 697 695 €, para o cenário que considera a instalação do reservatório R3.2, adicionando valores

associados ao funcionamento das bombas das estações elevatórias, que podem variar entre 0.053 €/m³, 0.072 €/m³ e 0.093 €/m³, considerando os custos energéticos iguais ao preço médio diário no dia 16 de outubro de 2022, preço ponderado do mês de outubro, registado no dia 16 de outubro de 2022, e preço médio anual de 2022, registado no dia 16 de outubro de 2022, respetivamente, devido ao consumo energético das bombas, igual a 0.504 kWh/m³.

Da totalidade do investimento, a maior percentagem encontra-se alocada à construção dos reservatórios, que observam uma necessidade volumétrica muito elevada, dado os 12 000 m³/dia de caudal considerados, a segunda maior parcela encontra-se alocada ao sistema de tubagens, dada a sua extensão e necessidade de utilização de tubagens com pressões nominais elevadas, que resultam num aumento no investimento, e a menor percentagem encontra-se associada à construção das duas estações elevatórias, que permitem o transporte bombado de água pelo sistema.

Finalmente, considerou-se o possível impacto ambiental associado à implementação do projeto estudado, assim como a sua compatibilidade com objetivos estratégicos, nacionais e europeus. Assim, foram comparados os objetivos de leis e planos, nacionais e europeus, às vantagens apresentadas pela implementação do projeto, sendo estas a preservação de parte do caudal natural do rio Antuã, onde são realizadas as captações de água, para o complexo industrial de Estarreja, atualmente; a utilização eficiente de água como recurso, promovendo a sua reutilização e circularidade, de modo a preservar as reservas e fontes hídricas da região; e contemplar a possibilidade de utilização de água residual tratada, para usos agrícolas, industriais e urbanos, de modo a estender o ciclo de vida da água utilizada, e fornecendo novos usos a um resíduo, tornando-o um recurso.

Em primeiro lugar, notam-se duas áreas de compatibilidade entre o projeto e a DQA, e a sua aplicação nacional, sendo estas a preservação de ecossistemas aquáticos e zonas húmidas e a promoção do uso sustentável de água, focando na eficiência do uso de água como recursos, e a preservação das reservas hídricas de Portugal. Da mesma forma, existem também semelhanças nos objetivos temáticos e ambientais, entre o sistema apresentado e o PGBH da região hidrográfica 4, onde o projeto se insere, sendo estes também focados nas áreas de preservação dos habitats e do domínio hídrico da região, ordenamento dos usos e ocupações do domínio hídrico, e uso eficiente e sustentável de água. A nível internacional, o projeto identifica-se proximamente com o ODS 6 – Água potável e Saneamento, partilhando áreas de ação e objetivos futuros.

Dada a natureza ambientalmente sensível, da região da ria de Aveiro, também se considerou, de que forma este projeto pode beneficiar a sustentabilidade dos ecossistemas da região, especialmente dada a sua proteção sob a Rede Natura 2000 e a existência de um sítio Ramsar, dentro da ria. Exploraram-se então as possibilidades de preservação de um dos caudais que abastece a ria, assim como a reintrodução de água na mesma, através do sistema apresentado, de forma a promover o suporte dos ecossistemas, verificando a compatibilidade do projeto, com uma visão de conservação da ria de Aveiro, assim como o seu património natural.

Finalmente, exploraram-se os possíveis usos, associados à ApR produzida na ETAR de Cacia, que abastece o sistema dimensionado, sendo eles agrícola, urbano e industrial. Devido à inexistência de

qualquer complemento ao tratamento secundário, existem várias restrições ao uso das ApR produzidas pela ETAR de Cacia. Relativamente aos usos agrícolas, a água produzida corresponde apenas à Classe E, podendo apenas ser usada para rega com restrição de acesso, correspondendo à produção de sementes e rega de áreas de uso restrito. No que toca aos usos urbanos, a ApR apresenta apenas qualidade necessária para o uso de suporte de ecossistemas, sendo que para os restantes usos seriam necessários complementos ao tratamento secundário. Assim, caso seja desejada a expansão dos tipos de usos para a ApR produzida, tanto para usos agrícolas ou urbanos, é identificada a necessidade de implementação de um processo de filtração por membranas (micro/ultra/nanofiltração) e/ou processos de desinfecção (por radiação ultravioleta ou ozonização).

Finalmente, o uso industrial está dependente da qualidade que é requerida pela própria indústria, tendo sido propostas ações, de modo a corresponder, sem dúvidas, às normas de qualidade necessárias, sendo essas ações a introdução de um sistema de nanofiltração, na ETAR de Cacia, a introdução de um sistema de osmose inversa, na ETAR de Cacia e introdução de um sistema complementar de tratamento de água, semelhante ao existente em Tarragona, analisando as vantagens e desvantagens associadas às mesmas. Estes usos estão sujeitos à emissão de uma licença, por parte da APA, precedida por uma avaliação de risco associada à utilização das ApR.

Assim, com base nos resultados obtidos, assim como na análise efetuada, propõe-se os seguintes trabalhos futuros, a serem efetuados com o objetivo de implementação deste projeto de reutilização de água.

Em primeiro lugar, deve-se realizar uma análise holística, dos processos e capacidades estruturais, tanto da ETAR de Cacia, como dos possíveis utilizadores e beneficiários do sistema, no CQE. Esta análise visa avaliar os requisitos para, e necessidade de implementação e/ou remodelação de processos (otimização de processos de tratamento de água, assim como a instalação de outros que os complementem; requisitos de qualidade de água para a utilização de processos industriais). Deve também ser realizada uma análise à capacidade estrutural de suporte de um sistema semelhante ao apresentado, considerando a infraestrutura existente (existência e dimensões de reservatórios, existência e altura de elevação de estações elevatórias, etc.).

Segundamente, deve ser construída uma ponte de comunicação com os municípios envolvidos, de modo a discutir as possibilidades existentes, dentro da implementação de um sistema como o apresentado. Embora a sua construção e aproveitamento seja possível, sem participação monetária das câmaras municipais, os seus usos seriam limitados, e a sua intervenção no espetro ambiental, seria de menor valor. A existência de cenários que observem um sistema mais versátil e com mais usos, pode promover a comparticipação por parte das câmaras municipais, sendo atingido um maior equilíbrio de investimento financeiro, assim como facilitamento da implementação do projeto.

Finalmente, observados os pontos acima referidos, e tendo sido estabelecido o âmbito, aplicação prática e detalhes do projeto, considerar possibilidades de financiamento através de fundos nacionais e europeus. Projetos como o apresentado, embora observem uma panóplia de vantagens a nível ambiental e social, tais como a sua robustez como fonte de abastecimento de água (em qualidade e

quantidade), são variadas vezes dispensados, dados os custos financeiros que necessitam. Considerando os casos de cofinanciamento considerados, a amenização do investimento associado ao sistema, para os valores calculados, constituiria um apoio elevado, e tornaria a implementação do projeto, mais viável.

Referências bibliográficas

- Águas do Centro Litoral. (2022). *Aveiro - Águas do Centro Litoral*. <https://www.aguasdocentrolitoral.pt/aveiro/>
- Águas do Tejo Atlântico. (2022). *Fábrica da Água - Uma nova geração de recursos*.
- Ambulkar, A. (2015). *wastewater treatment | Process, History, Importance, Systems, & Technologies | Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/wastewater-treatment>
- APA. (2019). *Guia para a reutilização de água - Usos não potáveis*.
- Aveiro, R. de. (2022). *Recursos Naturais - Ria de Aveiro*. <https://riadeaveiro.pt/recursos-da-região/recursos-naturais/>
- Barlow, P. M., & Reichard, E. G. (2010). Saltwater intrusion in coastal regions of North America. *Hydrogeology Journal*, 18(1), 247–260. <https://doi.org/10.1007/s10040-009-0514-3>
- Bassin, J. P., Castro, F. D., Valério, R. R., Santiago, E. P., Lemos, F. R., & Bassin, I. D. (2021). The impact of wastewater treatment plants on global climate change. *Water Conservation in the Era of Global Climate Change*, 367–410. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820200-5.00001-4>
- BDJUR. (2003). *ZPE - RIA DE AVEIRO - Plano Sectorial da Rede Natura 2000 Relativo ao Território Continental - BDJUR*. http://bdjur.almedina.net/citem.php?field=node_id&value=1351004
- Britannica. (2022). *wastewater treatment - Sources of water pollution | Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/wastewater-treatment/Sources-of-water-pollution>
- Bufon, A. G. M., Landim, P. M. B., & Melo, J. S. C. (2009). Estimativa do tempo de vida útil de represa de pequeno porte. *Acta Scientiarum. Technology*, 31(1). <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v31i1.1517>
- Câmara Municipal de Estarreja. (2022). *Câmara Municipal de Estarreja*. <https://www.cm-estarreja.pt/caracterizacao>
- ChemReady. (2022). *Flocculants and Coagulants for Wastewater Treatment*. <https://www.getchemready.com/wastewater-treatment/flocculants-coagulants-wastewater-treatment/>
- Comissão das Comunidades Europeias. (2004). Diretiva 92/43/CEE do Conselho de 21 de Maio de 1992, relativa à prevenção dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens - Diretiva Habitats. *Sistema CONSLEG do Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias: 1992L0043 - 01/05/2004*, 57.
- Comissão Europeia. (2021). *Fundo de Coesão | Fichas temáticas sobre a União Europeia | Parlamento Europeu*. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/96/fundo-de-coesao>
- Comissão Europeia. (2022). *Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) | Fichas temáticas sobre a União Europeia | Parlamento Europeu*. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/95/el-fondo-europeo-de-desarrollo-regional-feder->

- Dober. (2022). *Wastewater Coagulation*. <https://www.dober.com/water-treatment/resources/wastewater-coagulation>
- Doster, E., & Zitomer, R. (2020). *Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems - PDF Free Download*. January 2013. <https://docplayer.net/34059863-Eutrophication-causes-consequences-and-controls-in-aquatic-ecosystems.html>
- DRE. (2016). Decreto-Lei n.º 42-A/2016, 12 de agosto. *Republic Diary No. 155, 1st Serie, 3, 2730-(3)-2730-(11)*. <https://dre.pt/application/file/a/75150138>
- DRE. (2018). *Regulamento de Relações Comerciais dos Serviços de Águas e Resíduos (RRCAR) Regulamento n.º 594/2018*.
- DRE. (2019). Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto. *Diário da República n.º 159/2019, 21–44*. <https://dre.pt/home/-/dre/124097549/details/maximized>
- EEA. (2000). *sensitive area — European Environment Agency*. <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/sensitive-area>
- EEA. (2015). *N2K PTC0061 dataforms*. <https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=PTCON0061#7>
- EEA. (2020). *The European environment-state and outlook 2020. Knowledge for transition to a sustainable Europe* (Vol. 60, Número 3). <https://doi.org/10.15196/TS600305>
- EMIS. (2010). *Nanofiltration | EMIS*. <https://emis.vito.be/en/bat/tools-overview/sheets/nanofiltration>
- EPA. (2022). *How We Use Water | US EPA*. <https://www.epa.gov/watersense/how-we-use-water>
- Galvão, A. (2020). *ENUNCIADO DO PROBLEMA PRÁTICO 1 – ESTUDO PRÉVIO DE UM SISTEMA ADUTOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA – ANO LECTIVO 2019 / 2020* (pp. 1–7).
- Galvão, A., Monteiro, A. J., Ferreira, F., & Matos, J. (2020). *Sanitary Engineering - Practical class slides*. <https://doi.org/10.1038/019001a0>
- Henan Bingo Pipeline. (2015). *Henan-Bingo-Pipeline-HDPE-pipes-ISO4427-Metric-Size-and-Dimension.pdf*.
- Iberdrola. (2022). *What is Water Pollution? | Causes and Effects - Iberdrola*. <https://www.iberdrola.com/sustainability/water-pollution>
- ICNF. (2017). *ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas*. <https://www.icnf.pt/biodiversidade/natura2000/planosetorial>
- ICNF. (2019). *ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas*. <https://www.icnf.pt/biodiversidade/natura2000/redenatura>
- IPMA. (2022). *IPMA - Detalhe noticia*. https://www.ipma.pt/pt/media/noticias/news.detail.jsp?f=/pt/media/noticias/arquivo/2020/seca_de_sertificacao_portugal_062020
- Junta de Freguesia de Cacia. (2022). *Estatística - Cacia*. <https://cacia.pt/cacia/estatistica/>
- Land Use Solutions for Colorado. (2022). *Protecting Sensitive Areas | Planning For Hazards*.

- <https://www.planningforhazards.com/protecting-sensitive-areas>
- LennTech. (2022). *Nanofiltration* - Lenntech. <https://www.lenntech.com/processes/pesticide/nanofiltration/nanofiltration.htm>
- Maretec. (2022). *Descrição* - *Ria de Aveiro*. http://maretec.mohid.com/Estuarios/MenuEstuarios/Descrição/descricao_RiaAveiro.htm
- Matos, J. S., Monteiro, A. J., Ferreira, F., & Galvão, A. (2020). *Department of civil engineering, architecture and georesources*.
- Matrix Piping. (2017). *HDPE Pipe Prices & Sizes Made Amazingly Easy by Matrix Piping!* <https://www.matrixpiping.com.au/pages/poly-pipe-prices>
- Mayo Clinic Health System. (2022). *Water: Essential for your body - Mayo Clinic Health System*. <https://www.mayoclinichealthsystem.org/hometown-health/speaking-of-health/water-essential-to-your-body>
- Melo, M. S. S. (2018). *Avaliação do grau de salinização dos solos agrícolas do BVL: estado atual e suas consequências*. <https://ria.ua.pt/handle/10773/25836>
- Membracon. (2022). *The benefits of Reverse Osmosis in Industrial Processes*. <https://www.membracon.co.uk/blog/benefits-reverse-osmosis/#:~:text=Reverse osmosis is one of,going to effluent or drain.>
- Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações. (1995). Decreto-Lei nº 23/95 - Regulamento Geral de Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR). Em *Diário da República - 1 Série-B: Vol. N.º 194* (pp. 5284–5319). <https://dre.pt/pesquisa/-/search/488136/details/maximized>
- Ministério do Ambiente. (1997). Ministério do Ambiente. *Diário da República, I-Série A, 4775–4780*. <https://dre.pt/application/conteudo/365343>
- Ministério do Ambiente. (2022). *Fundo Ambiental, Ministério do Ambiente*. <https://www.fundoambiental.pt/apoios-prr/c9-gestao-hidrica/01c09-i01022022-aproveitamentos-hidroagricolas-coletivos-reabilitacao-de-aproveitamentos-hidraulicos-coletivos.aspx>
- Monte, H. M., Santos, M. T., Barreiros, A. M., & Albuquerque, A. (2016). *Tratamento de Águas Residuais - Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico*. www.ersar.pt
- ODS. (2015). 6. *GARANTIR A DISPONIBILIDADE E A GESTÃO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA POTÁVEL E DO SANEAMENTO PARA TODOS* | ODS. <https://www.ods.pt/objectivos/6-agua-e-saneamento/?portfolioCats=24>
- Oficial, J., Do, C. E., Europeu, P., Conselho, D. O., Europeia, C., Europeu, S., & Europeu, P. (2009). *Diretiva 2009/147/CE, de 30 de novembro (Diretivas Aves)*.
- OMS. (2022). *Drinking-water*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- PACOPAR. (2017). *a História Do Complexo Químico De Estarreja Mais De 60 Anos a Construir Integração e Competitividade*. <http://www.pacopar.org/contents/files/historiacqe-pt.pdf>
- PACOPAR. (2021). *Compromisso*. <https://www.pacopar.org/pt/sustentabilidade/compromisso/>

- Parada, C., Fragoso, J. P., Dias, L., Mendes, R., & Dias, S. (2021). *Reutilização de águas residuais para fins industriais*.
- Parlamento Europeu. (2000). Diretiva N.º 2000/60/CE. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, 7, 1–72.
- Protect ESA's now. (2009). *Protect Environmentally Sensitive Areas (ESAs) Now! - Mauritius*. <https://www.esabillnow.org/index-en.htm>
- Puretec. (2022). *What is Reverse Osmosis? | Reverse Osmosis | Puretec Industrial Water*. <https://puretecwater.com/reverse-osmosis/what-is-reverse-osmosis>
- Quintela, A. C. (2014). *Hidráulica* (F. C. Gulbenkian (Ed.)).
- Ramsar Convention Bureau. (2016). The Ramsar Sites Criteria: The nine criteria for identifying Wetlands of International Importance. *Ramsar*, 6–7. http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ramsarsites_criteria_eng.pdf
- REN. (2022). *Eletricidade - Mercado*. <https://datahub.ren.pt/pt/eletricidade/mercado/>
- Ribeiro, L. T. (2012). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis Integradas na Região Hidrográfica 4: Vols. 5.2-Água*.
- Safe Drinking Water Foundation. (2010). *Ultrafiltration, Nanofiltration and Reverse Osmosis — Safe Drinking Water Foundation*. <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/ultrafiltrationnanoandro>
- Sanz, J., Suescun, J., Molist, J., Rubio, F., Mujeriego, R., & Salgado, B. (2015). Reclaimed Water for the Tarragona petrochemical park. *Water Science and Technology: Water Supply*, 15(2), 308–316. <https://doi.org/10.2166/ws.2014.114>
- Secretariado da Convenção de Ramsar. (2015). *The Convention on Wetlands and its mission | Convention on Wetlands*. <https://www.ramsar.org/about/the-convention-on-wetlands-and-its-mission>
- SIMRIA. (2022). *ETAR Norte - SIMRIA*. http://www.simria.pt/gca/popup_2.php?id=93
- UN. (2015). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ODS - BCSD Portugal*. <https://www.ods.pt/>
- USBR. (2020). *Water Facts - Worldwide Water Supply | ARWEC | CCAO | Area Offices | California-Great Basin | Bureau of Reclamation*. <https://www.usbr.gov/mp/arwec/water-facts-ww-water-sup.html>
- USGS. (2019). *How Much Water is There on Earth? | U.S. Geological Survey*. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/how-much-water-there-earth#overview>
- Veolia. (2022). *Industrial wastewater treatment | Veolia Water Technologies*. <https://www.veoliawatertechnologies.com/en/applications/industrial-wastewater-treatment>
- Wald, C. (2022). The urine revolution: how recycling pee could help to save the world. *Nature*, 602(7896), 202–206. <https://doi.org/10.1038/D41586-022-00338-6>
- Wang, Y. N., & Wang, R. (2018). Reverse osmosis membrane separation technology. *Membrane*

Separation Principles and Applications: From Material Selection to Mechanisms and Industrial Uses, 1–45. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812815-2.00001-6>

Anexos

A. Problemas e oportunidades associados à bacia hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis

Tabela A. 1 - Problemas e oportunidades associados à bacia hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis (Ribeiro, 2012)

Problemas	Oportunidades
Biodiversidade, Flora e Fauna	
<p>Degradação das áreas florestais, conseqüente fonte de poluição resultante dos incêndios florestais e degradação dos habitats florestais pela proliferação das espécies exóticas invasoras;</p> <p>Desflorestação, com conseqüente redução da massa verde importante para o sistema de infiltração de água na solo fonte de reabastecimento dos aquíferos;</p> <p>Pressão urbana, destruição e perturbação dos habitats, destruição dos sistemas ripícolas, aumento da impermeabilização dos solos;</p> <p>Eutrofização dos sistemas lagunares, resultante da poluição agrícola;</p> <p>Alterações biofísicas dos habitats estuarinos e dunares resultantes da extração de inertes, obras hidráulicas e de proteção costeira com influências no fluxo de sedimentos;</p> <p>Fontes de poluição industrial, agrícola e urbana (fonte de poluição pontual e difusa);</p> <p>Artificialização ou canalização das linhas de água e alteração aos regimes hídricos, destruição da galeria ripícolas e dos corredores ecológicos;</p> <p>Alterações abióticas dos sistemas de transição (aumento ou perda de salinidade), com conseqüências negativas em espécies endémicas e permitindo a entrada de</p>	<p>Grande diversidade de ecossistemas de elevada importância para a conservação da natureza e biodiversidade;</p> <p>Galerias ripícolas em bom estado de conservação como principais corredores ecológicos;</p> <p>Diversidade de sistemas ecológicos (montanha, dunares, estuários) e diversidade de habitats;</p> <p>Presenças de espécies endémicas de elevado valor ecológico;</p> <p>Ria de Aveiro alberga cerca de 60% da população nidificante em Portugal;</p> <p>12 Áreas pertencentes à Rede Ecológica Europeia (Rede Natura 2000) com elevada importância na nidificação de espécies migradoras (cerca de 173 espécies);</p> <p>Definição de uma Estrutura Regional de Proteção e Valorização Ambiental com base nos recursos hídricos e no seu potencial ecológico;</p> <p>Presença de extensas manchas de floresta de proteção com potencial cinegético;</p>

<p>espécies exóticas e com alterações às condições de nidificação de espécies migradoras;</p> <p>Construção de barragens impede a migração de espécies piscícolas com importância económica, como os salmonídeos e os catádmomos;</p> <p>Introdução de espécies exóticas nos cursos de água;</p> <p>Conversão de salinas em aquaculturas;</p> <p>Intenso processo erosivo na costa por ação do mar.</p>	<p>Extensas áreas com sistemas dunares constituem barreiras naturais de proteção;</p> <p>Aumento do valor ecológico associado aos habitats intervencionados;</p> <p>Contribuição para a implementação de procedimentos de gestão no âmbito das orientações do Plano sectorial Rede Natura 2000.</p>
<p>Saúde Humana</p>	
<p>Cobertura incipiente da rede de abastecimento de água em alguns concelhos inseridos na Região;</p> <p>Contaminação das águas superficiais por descargas diretas no meio;</p> <p>Necessidade de maior tratamento das águas superficiais em relação às águas subterrâneas, sendo que o abastecimento de água para consumo é maioritariamente efetuado por águas superficiais (67%);</p> <p>Contaminação das massas de água (aquíferos) abastecedoras dos pontos de captação subterrânea;</p> <p>Medição e autocontrolo insuficiente e/ou ineficiente, das captações de água e descargas de águas residuais.</p>	<p>Necessidade legal de atingir parâmetros de qualidade estabelecidas no PEAASAR II;</p> <p>Requalificação das áreas balneares para melhoria da qualidade na oferta de áreas de recreio e lazer.</p>
<p>Paisagem e Património Cultural</p>	
<p>Profundas alterações na morfologia da Ria de Aveiro (instalações portuárias e industriais, estradas, aterros, etc.);</p> <p>Forte crescimento urbano-turístico nos aglomerados costeiros e expansão de áreas urbanas e turísticas para áreas de grande valor</p>	<p>Área com grande diversidade paisagística;</p> <p>Potenciar o valor da identidade das várias unidades de paisagem;</p> <p>Oportunidade de promover a gestão dos recursos hídricos associada à</p>

<p>ecológico;</p> <p>Diminuição das atividades económicas tradicionais ligadas ao oceano e aos estuários;</p> <p>Artificialização das linhas de água;</p> <p>Destruição das galerias ripícolas (corte direto/intensa plantação de eucaliptos até à linha de água, por vezes em encostas muito declivosas);</p> <p>Construção de empreendimentos hidroelétricos e açudes (impactes na paisagem, artificialização de rios e implicações na migração de espécies piscícolas);</p> <p>Poluição das massas de água devido à descarga de efluentes industriais, pecuários, urbanos e poluição difusa associada à atividade agrícola (alterações ao nível da vegetação);</p> <p>As alterações climáticas terão consequências ao nível da alteração da paisagem (ao nível da vegetação, caudais das águas de transição).</p>	<p>gestão das paisagens, valorizando a sua diversidade; Promover a potenciação das galerias ripícolas;</p> <p>Elevada quantidade de património histórico (bens imóveis – arquitetónico e arqueológico);</p> <p>Valores ambientais/paisagísticas e do património biofísico e cultural, potenciando o desenvolvimento de atividades ambientalmente sustentáveis.</p>
<p>Água</p>	
<p>Poluição difusa associada a atividades agrícolas e pecuárias e à urbanização;</p> <p>Descargas diretas sem tratamento;</p> <p>Poluição tóxica associada a atividades industriais e a acidentes;</p> <p>Perda de biodiversidade associada à intervenção nos caudais, a alterações à morfologia e à disseminação de espécies não autóctones;</p> <p>Riscos de erosão e de inundação associados a alterações na morfologia e nos regimes naturais dos rios.</p>	<p>Implementação de sistemas de combate à poluição difusa nas explorações agrícolas e pecuárias;</p> <p>Aumento de cobertura da rede de saneamento;</p> <p>Interligação com planos e sistemas de emergência tendo em vista a redução de poluição pontual relativa a acidentes;</p> <p>Interligação com instrumentos de gestão territorial ligados à conservação da natureza no sentido da gestão eficaz da biodiversidade;</p> <p>Implementação de sistemas para o uso sustentável da água, principalmente em atividades de utilização intensiva, como é o caso da agricultura.</p>

Uso do Solo	
<p>Perda de solos com aptidão agrícola pela expansão de áreas urbanas, industriais ou infraestruturas;</p> <p>Perda de área com uso agrícola devido à migração da população para áreas mais urbanizadas;</p> <p>Aumento do número de incêndios florestais e das áreas ardidas;</p> <p>Poluição derivada de descargas ou tratamento ineficiente em áreas industriais;</p> <p>Contaminação dos recursos hídricos por práticas de agricultura e de pecuária intensiva;</p> <p>Artificialização de linhas de água e alteração aos regimes hídricos naturais, potenciando erosão e cheias;</p> <p>Conflitualidade de usos de solo entre a agricultura, floresta, indústria e turismo, constituindo potenciais tensões, em termos de gestão dos recursos hídricos</p>	<p>Recuperação de solos degradados por atividades antrópicas;</p> <p>Implementação de sistemas de abastecimento urbano e de regadios eficazes, adequados às ocupações espaciais existentes;</p> <p>Recuperação ambiental de cursos de água poluídos, associados à definição de âmbito das Revisões de PDM;</p> <p>Florestação e a defesa da floresta.</p>
Socioeconómica	
<p>Envelhecimento da População;</p> <p>Situações de diminuição de densidade e envelhecimento populacional, nas sub-regiões do interior, conjugadas, frequentemente, com o declínio das atividades agrícolas tradicionais;</p> <p>Tendência de abandono das atividades do setor primário (agricultura) e uma relativa diminuição do peso do setor secundário (indústria) em prol do acréscimo de população empregada no setor terciário (serviços);</p> <p>Produtividade menor da registada em média no País, correspondendo globalmente a 83% da média nacional;</p>	<p>Acréscimo da população residente;</p> <p>Taxa de crescimento migratório positiva;</p> <p>Importância do setor secundário da Região no contexto nacional (18% do total do país);</p> <p>Disponibilidade das principais reservas de água com origem exclusivamente nacional, na região;</p> <p>Importância dos centros urbanos regionais nos processos de inovação e reforço da coesão e competitividade regional;</p>

<p>Crescimento natural negativo devido a mortalidade mais elevada que a natalidade;</p> <p>Proporção de população flutuante e respetivo potencial de pressão sobre o recurso água;</p> <p>Menor capacidade de atração da população trabalhadora e estudante, uma vez que os atuais movimentos pendulares de saída são superiores aos de entrada.</p>	<p>Exploração de dinâmicas de inovação, suportando o desenvolvimento de novos pólos regionais de competitividade, através do reforço da articulação entre o tecido empresarial e as instituições de I&DT;</p> <p>Criação de uma área considerável de regadio (Baixo Mondego);</p> <p>Relativa capacidade de atração da população residente dada a existência de crescimento migratório positiva.</p>
--	--

B. Objetivos Estratégicos do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados por áreas temáticas

Tabela A. 2 - Objetivos Estratégicos do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados por áreas temática (Ribeiro, 2012)

Área Temática	Objetivos
AT1 Qualidade da Água	AT1_OE01: Proteger a qualidade das massas de água superficiais (costeiras, de transição e interiores) e subterrâneas, visando a sua conservação ou melhoria;
	AT1_OE02: Garantir a proteção das origens de água e dos ecossistemas de especial interesse, incluindo a manutenção de um regime de caudais ambientais e, em particular, de caudais ecológicos;
	AT1_OE03: Garantir a resolução de problemas de escassez ocasionados por falta de infraestruturas;
AT2 Quantidade da Água	AT2_OE01: Promover e incentivar o uso eficiente da água, por forma a assegurar a quantidade para os diversos usos, contribuindo para melhorar a oferta e para gerir a procura;
	AT2_OE02: Promover a utilização de água com fins múltiplos e a minimização dos conflitos de usos;
AT3 Gestão de riscos e valorização do domínio hídrico	AT3_OE01: Reforçar e promover a proteção, valorização e regularização da rede hidrográfica e da orla costeira;
	AT3_OE02: Prevenir e minorar os riscos naturais e antropogénicos associados a fenómenos hidrológicos extremos e a acidentes de poluição;
	AT3_OE03: Fomentar o ordenamento dos usos e ocupações do domínio hídrico, articulando o planeamento e ordenamento do domínio hídrico com o ordenamento do território, promovendo o licenciamento e controlo dos usos do domínio hídrico e a valorização económica dos recursos compatíveis com a preservação dos meios hídricos;
AT4 Quadro institucional e normativo:	AT4_OE01: Promover a adequação do quadro institucional e normativo, para assegurar o planeamento e gestão integrada dos recursos hídricos com uma intervenção racional e harmonizada dos diferentes agentes;
AT5	AT5_OE01: Promover a sustentabilidade económica e financeira, visando a aplicação dos princípios do utilizador-pagador e poluidor-pagador, permitindo suportar uma política de gestão da procura com base em critérios de racionalidade e equidade

Quadro económico e financeiro	e assegurando que a gestão do recurso é sustentável em termos económicos e financeiros;
	AT5_OE02: Reforçar a recuperação dos custos dos serviços da água numa estratégia integrada de valorização energética de rios, mediante a implementação de pequenos aproveitamentos hidroelétricos e mediante o licenciamento de alguns aproveitamentos de bombagem pura.
AT6 Monitorização, investigação e conhecimento:	AT6_OE01: Aprofundar o conhecimento técnico e científico sobre os recursos hídricos e promover a implantação de redes de monitorização de variáveis hidrológicas e de qualidade física, química e ecológica da água, nomeadamente das substâncias perigosas e prioritárias;
	AT6_OE02: Promover o desenvolvimento de sistemas de informação relativos ao estado e utilizações do domínio hídrico;
AT7 Comunicação e governança	AT7_OE01: Fomentar a consciencialização da sociedade sobre o valor ambiental intrínseco da água e a responsabilização pelo seu uso eficiente, aumentando o grau de informação, consulta e participação pública na gestão dos recursos hídricos;
	AT7_OE02: Criar um quadro de relacionamento institucional estimulando parcerias que permitam a compatibilização de interesses divergentes e a criação de valor.

C. Objetivos Ambientais do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados em áreas temáticas

Tabela A. 3 - Objetivos Ambientais do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados em áreas temáticas (Ribeiro, 2012)

Tipo	Objetivos
Águas Superficiais	OA_SUP01: evitar a deterioração do estado de todas as massas de água superficiais;
	OA_SUP02: proteger, melhorar e recuperar todas as massas de água, com exceção das massas de água artificiais e fortemente modificadas, com o objetivo de alcançar o bom estado;
	OA_SUP03: proteger e melhorar as massas de água artificiais e fortemente modificadas, com o objetivo de alcançar o bom potencial ecológico e o bom estado químico;
	OA_SUP04: assegurar a redução gradual da poluição provocada por substâncias prioritárias e cessação das emissões, descargas e perdas de substâncias prioritárias perigosas;
Águas Subterrâneas	OA_SUBT01: evitar ou limitar a descarga de poluentes nas águas subterrâneas e prevenir a deterioração do estado de todas as massas de água;
	OA_SUBT02: assegurar a proteção, melhoria e recuperação de todas as massas de água subterrâneas, garantindo o equilíbrio entre as captações e as recargas dessas águas, com objetivo de alcançar o bom estado;
	OA_SUBT03: inverter quaisquer tendências significativas persistentes para o aumento da concentração de poluentes que resulte do impacto da atividade humana, com vista a reduzir gradualmente os seus níveis de poluição, com o objetivo de alcançar o bom estado.
Zonas Protegidas	OA_ZP01: assegurar os objetivos que justificaram a criação das zonas protegidas, observando-se integralmente as disposições legais estabelecidas com essa finalidade e que garantem o controlo da poluição;
	OA_ZP02: elaborar um registo de todas as zonas incluídas em cada região hidrográfica que tenham sido designadas como zonas que exigem proteção especial no que respeita à proteção das águas superficiais e subterrâneas ou à conservação dos habitats e das espécies diretamente dependentes da água;
	OA_ZP03: registo das zonas protegidas de cada região hidrográfica inclui os mapas com indicação da localização de cada zona protegida e uma descrição da legislação ao abrigo da qual essas zonas tenham sido criadas;

	<p>OA_ZP04: identificar em cada região hidrográfica todas as massas de água destinadas a captação para consumo humano que forneçam mais de 10 m³ por dia em média ou que sirvam mais de 50 pessoas e, bem assim, as massas de água previstas para estes fins, e é referida, sendo caso disso, a sua classificação como zonas protegidas.</p>
--	--

D. Objetivos adicionais do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados por áreas temáticas

Tabela A. 4 - Objetivos adicionais do PGBH, da região hidrográfica 4, organizados por áreas temáticas (Ribeiro, 2012)

Tipo	Outros Objetivos
Inundações	OO_INUN01: Elaboração de cartas de zonas inundáveis e de cartas de risco de inundações;
	OO_INUN02: Elaboração dos planos de gestão do risco de inundações
	OO_INUN03: Identificação de novas obras fluviais necessárias para a redução das áreas inundáveis ou da sua frequência de inundação;
	OO_INUN04: Completamento das obras de regularização do Baixo Mondego e dos seus afluentes, de acordo com o correspondente Plano de Regularização, em execução desde os anos 80 do século passado;
	OO_INUN05: Reparação dos danos causados pela cheia de 2001 nas obras existentes da Regularização do Baixo Mondego
	OO_INUN06: Completamento dos Planos de Emergência de todas as barragens da Classe I.
Secas	OO_SEC01: Construção das infraestruturas necessárias para eliminar os problemas de escassez no abastecimento urbano e industrial que se fazem sentir em Viseu, Mangualde, Nelas, Penalva do Castelo, Águeda e Oliveira do Bairro;
	OO_SEC02: Realização de um plano de gestão de secas, para vigorar entre 2012 e 2015, data em que as infraestruturas para eliminação das situações de escassez deverão ficar prontas, tornado o plano redundante;
	OO_SEC03: Reparação da Barragem do Lapão, de modo a restabelecer o regadio que foi defraudado com a rotura parcial dessa barragem durante o seu primeiro enchimento.

E. Normas de qualidade de ApR, para rega

Tabela A. 5 - Normas de qualidade de água para reutilização para rega (DRE, 2019)

Classe de qualidade	CBO ₅ (mg/L O ₂)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	E. coli (ufc/100 mL)	Ovos de parasitas intestinais (N/L)	Azoto amoniacal (mg NH ₄ ⁺ /mL)	Azoto total (mg N/mL)	Fósforo total (mg P/mL)
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		≤100000				

Tabela A. 6 - Normas de qualidade de água para reutilização para rega para proteção das culturas agrícolas, florestais e solos (DRE, 2019)

Parâmetro	Norma de qualidade	Unidade
Alumínio	5.0	mg Al/L
Berílio	0.1	mg Be/L
Cobalto	0.05	mg Co/L
Fluoretos	2.0	mg F ⁻ /L
Ferro	2.0	mg Fe/L
Lítio	2.5	mg Li/L
Manganês	0.2	mg Mn/L
Molibdênio	0.01	mg Mo/L
Selênio	0.02	mg Se/L
Vanádio	0.1	mg V/L
SAR	Variável em função da sensibilidade das culturas	
Salinidade		

Boro	
-------------	--

Tabela A. 7 - Usos e tipos de tratamento adequados em função das várias classes de qualidade da água (DRE, 2019)

Classe	Possíveis usos	Nível de tratamento	Tipo de tratamento (Guia)
A	Rega sem restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): rega de culturas consumidas em cru em que a parte consumível está em direto contacto com a água; rega de jardins públicos sem restrição de acesso; rega de jardins privados	Mais avançado que secundário (desinfeção)	Tratamento secundário ^a , filtração ^b (e.g., filtração por membranas) e desinfeção ^c (sistemas avançados de tratamento)
B	Rega com restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em direto contacto com a água; rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos; rega de jardins com restrição de acesso, incluindo áreas de lazer e desportivas (e.g., campos de golfe)	Mais avançado que secundário (desinfeção)	Tratamento secundário ^a , filtração ^b e desinfeção ^c
C	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em direto contacto com a água; rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos	Mais avançado que secundário (desinfeção)	Tratamento secundário ^a e desinfeção ^c
D	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes, incluindo sementes para uso industrial ou produção de energia	Mais avançado que secundário (desinfeção)	Tratamento secundário ^a e desinfeção ^c
E^d	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes; rega de áreas de uso restrito (e.g., sebes, áreas de contenção (prados em socacos))	Mais avançado que secundário (desinfeção)	Sistemas de lagunagem (incluindo lagoa de maturação) ou outros sistemas de tratamento que garantam nível de tratamento equivalente ou superior

^a Tratamento secundário convencional

^b Filtração refere-se a microfiltração, ultrafiltração, filtração por cartuchos, filtração por areia de alto rendimento, processos por membranas (incluindo reatores membranares), uso de meio filtrante duplo, uso de filtros têxteis e de disco (com ou sem adição de produtos químicos)

^c Desinfecção inclui a radiação UV, ozonização, processos por membranas, cloração (apenas admissível para manutenção de teor residual de desinfetante) ou outros processos de oxidação avançada. No caso da cloração, a dosagem de cloro deve preferencialmente ser definida com base na carência de cloro, para minimizar a formação de subprodutos

^d Só admissível para água residual tratada proveniente de sistemas não abrangidos pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho

F. Normas de qualidade de ApR, para usos urbanos

Tabela A. 8 - Normas de qualidade de água para usos urbanos (DRE, 2019)

Parâmetro	Suporte de ecossistemas	Usos recreativos, de enquadramento paisagístico	Lavagem de ruas ^e	Água de combate a incêndios ^a	Águas de arrefecimento	Autoclismos	Lavagem de veículos ^{d, e}
pH	A determinar caso-a-caso em função do estado ecológico e respetivos parâmetros de suporte	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6.5 a 8.5 ^b	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0
CBO₅ (mg/L O₂)		≤25	≤25	≤25	≤25	≤25	
Turvação (NTU)		≤5		≤5		≤5	≤5
Azoto amoniacal (mg/L NH₄)		≤5			≤5 ≤1 (na presença de cobre)	≤10	
P_{total} (mg/L P)		≤2 ^c					
E. coli (ufc/100 mL)		≤10		≤10	≤200	≤10	≤10

^a As vias de exposição por ingestão (não intencionada) devem ser consideradas de máxima importância nestes usos, pelo que a qualidade deve ser similar à da classe A para rega

^b Pode ocorrer crescimento microbiano a valores superiores ou inferiores a esta gama de pH

^c Quando utilizado em locais sujeitos à ocorrência de eutrofização (e.g., lagos urbanos, fontes)

^d 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 da ocorrência de calcificação ou corrosão dos sistemas de armazenagem e distribuição de água.

^e Em sistemas de lavagem manual a alta pressão, as vias de exposição por ingestão (não intencionada) devem ser consideradas de máxima importância nestes usos, pelo que a qualidade deve ser similar à da classe A para rega.

Tabela A. 9 - Níveis e tipos de tratamento adequados a cada uso urbano (DRE, 2019)

	Suporte de ecossistemas	Usos recreativos, de enquadramento paisagístico	Lavagem de ruas	Água de combate a incêndios	Águas de arrefecimento	Autoclismos	Lavagem de veículo
Nível de tratamento	Secundário ou mais avançado que secundário ^a	Mais avançado que secundário	Mais avançado que secundário	Mais avançado que secundário	Mais avançado que secundário	Mais avançado que secundário	Mais avançado que secundário
Tipo de tratamento	Tratamento secundário ^b e eventual desinfecção ^d e ou remoção de N e P	Tratamento secundário ^b , filtração ^c (e.g., filtração por membranas) e desinfecção ^d (sistemas avançados de tratamento)		Tratamento secundário ^b , filtração ^c (e.g., filtração por membranas) e desinfecção ^d (sistemas avançados de tratamento))	Tratamento secundário ^b , filtração ^c (e.g., filtração por membranas) e desinfecção ^d (sistemas avançados de tratamento)		

^a Depende do estado da massa de água e respetiva classificação no âmbito do Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, com as alterações que lhe foram dadas pelos Decretos-Leis n.º 348/98, de 9 de novembro, n.º 149/2004, de 22 de junho n.º 198/2008, de 8 de outubro, e n.º 133/2015, de 13 de julho

^b Tratamento secundário convencional

^c Filtração refere-se a microfiltração, ultrafiltração, filtração por cartuchos, filtração por areia de alto rendimento, processos por membranas (incluindo reatores membranares), uso de meio filtrante duplo, uso de filtros têxteis e de disco (com ou sem adição de produtos químicos)

^d Desinfecção inclui a radiação UV, ozonização, processos por membranas, cloração (apenas admissível para manutenção de teor residual de desinfetante) ou outros processos de oxidação avançada

G. Normas de qualidade de ApR, para uso industrial

Tabela A. 10 - Normas de qualidade de ApR em uso industrial (proteção para contacto humano) (DRE, 2019)

Classe de qualidade	Turvação (NTU)	E. coli (ufc/100 mL)
Em circuitos com risco direto de ingestão (incluindo ingestão acidental, e.g., gotículas) e contacto dérmico	≤5	≤10
Em circuitos com risco direto contacto dérmico		≤1000

H. Custos de investimento em função da capacidade de reservatórios

Tabela A. 11 – Custos de investimento associado a reservatórios, tendo por base a sua capacidade volumétrica (Galvão, 2020)

Capacidade capacity (m ³)	Custo cost (€)		Capacidade capacity (m ³)	Custo cost (€)	
	Total	Por m ³ Per m ³		Total	Por m ³ Per m ³
20	17 000	850	700	20 900	287
30	19 950	665	800	220 000	275
50	28 500	570	900	235 800	262
75	37 500	500	1 000	250 000	250
100	64 400	644	1 200	270 000	225
150	78 300	522	1 500	315 000	210
200	91 400	457	2 000	380 000	190
250	103 750	415	2 500	462 500	185
300	120 000	400	3 000	540 000	180
400	140 000	350	4 000	680 000	170
500	162 500	325	5 000	800 000	160
600	180 000	300	10 000	1 270 000	127

I. Capacidade de reservatórios, considerando diferentes valores de fator de pico do caudal associado

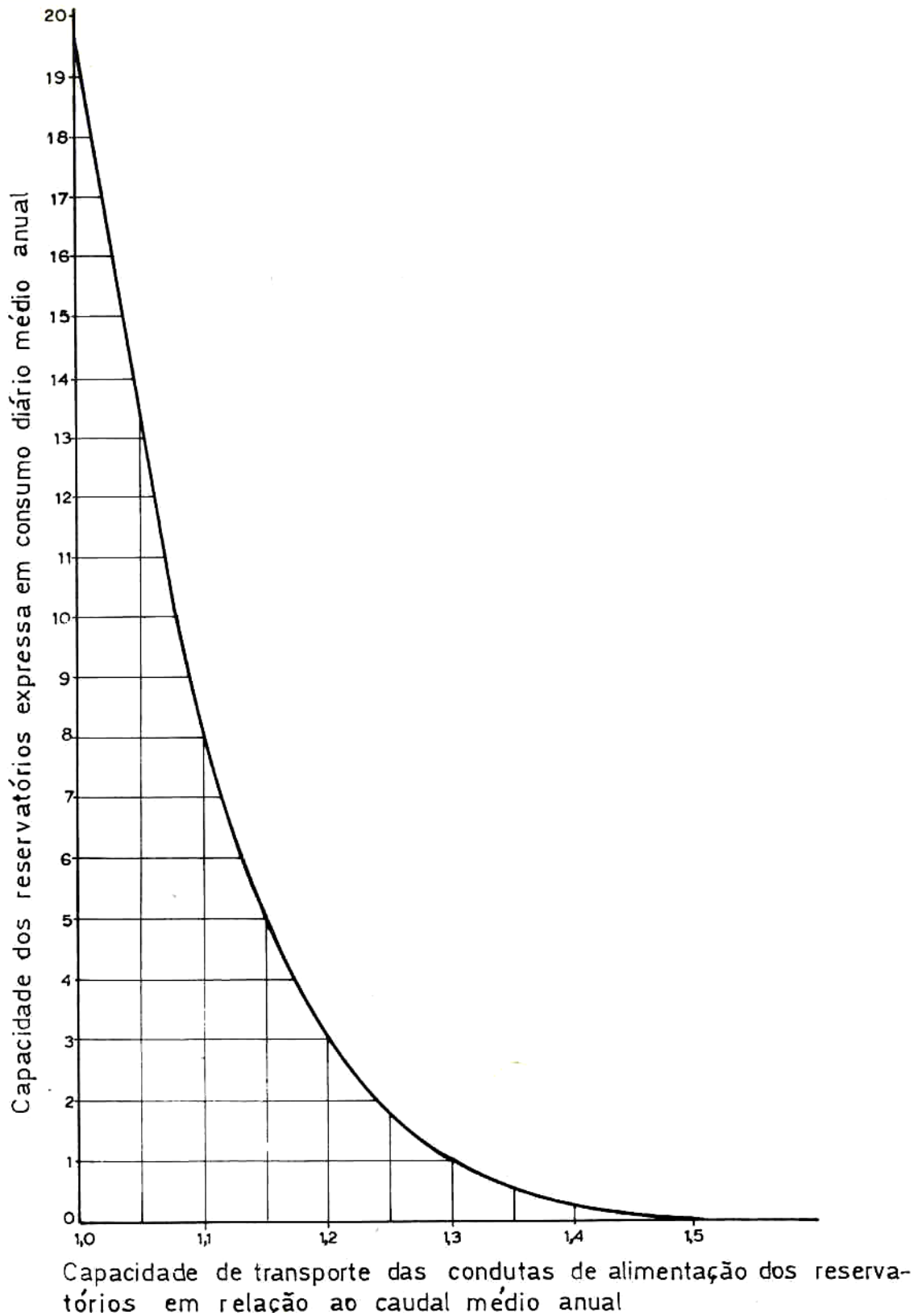


Figura A. 1 – Gráfico de capacidade de reservatórios, expressa em consumo médio diário anual, considerando diferentes valores de fator de pico do caudal associado (Direcção-Geral dos Recursos Naturais, 1991)