



BERNARDO FILIPE SILVA ROCHA

Licenciatura em Ciências de Engenharia do Ambiente

**VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES URBANOS. CASO DE ESTUDO
BASE ÁEREA N.º 5, MONTE REAL**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil Engenharia Sanitária

Orientador: Professor Doutor António Pedro Mano
(Prof. Auxiliar FCT NOVA)

Júri:

Presidente: Prof.^a Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral
Vogais e Arguente: Prof.^a Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa
Prof. Doutor António Pedro Mano



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro, 2020



BERNARDO FILIPE SILVA ROCHA

Licenciatura em Ciências de Engenharia do Ambiente

**VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES URBANOS. CASO DE ESTUDO
BASE ÁEREA N.º 5, MONTE REAL**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil Engenharia Sanitária

Orientador: Professor Doutor António Pedro Mano
(Prof. Auxiliar FCT NOVA)

Júri:

Presidente: Prof.^a Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral
Vogais e Arguente: Prof.^a Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa
Prof. Doutor António Pedro Mano



Novembro, 2020

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de prestar o meu sincero agradecimento ao meu orientador, Professor Doutro António Pedro Mano, pela oportunidade de realização desta dissertação e pela sua constante paciência e compreensão que teve para comigo ao longo deste processo. Gostaria de agradecer, igualmente, pelo fantástico trabalho prestado como docente, por me orientar, e a tantos outros colegas, durante todo o mestrado, sempre com o intuito de nos tornar melhores profissionais.

Gostaria de agradecer à Unidade, sediada na Base Aérea N.º 5, pelo tema que propuseram. Agradeço ainda ao Alferes Filipe Delgado, pela sua disponibilidade e prontidão em fornecer a informação necessária, assim como o seu ponto de vista na discussão de problemas e oportunidades que surgiram durante a realização deste estudo.

Quero agradecer aos meus colegas de faculdade pela partilha deste percurso, por terem sido um ombro amigo nos momentos de maior dificuldade, mas também nos momentos de grandes conquistas realizadas em conjunto. Manifesto o meu respeito por todos na esperança de manter a amizade e convivência no futuro.

Um especial obrigado aos amigos, a minha família adquirida, que me acompanham desde a minha adolescência, nomeadamente: Augusto Silva, David Mendes, Diogo Pestana, Fabiana Filipe e a Sara Filipe. As experiências que passámos e o seu apoio contribuíram para a minha formação pessoal. Agradeço à Ana Portas, à Margarida Gonçalves, ao Miguel Ventura, ao Miguel Sequeira e Pedro Fialho, que foram meus companheiros de casa durante anos, por todas as nossas experiências partilhadas.

Um especial obrigado à Beatriz Oliveira, que se tornou na minha melhor amiga, por todas as longas sessões de estudo e o seu apoio incondicional durante o ensino superior. À Joana Brito que me acompanhou grande parte desta viagem, obrigado por todos os momentos que passámos juntos. Obrigado ao Rafael Rodrigues, em quem encontrei um irmão e me acompanhou na área do voluntariado.

Gostaria de agradecer à minha família, em particular aos meus pais, pelo seu apoio incondicional, por me mostrarem que existe sempre uma luz ao fundo do túnel e que, com esforço e dedicação, não existem obstáculos incontornáveis. Graças à educação que recebi e aos exemplos de humildade tornei-me o homem que sou hoje. Um especial obrigado aos meus avós que sempre me acompanharam desde sempre; estarão para sempre no meu coração. Agradeço ao meu irmão Francisco Rocha e ao meu primo João Silva, que sempre fizeram parte da minha vida, pelos momentos de festa, pelas intermináveis conversas e discussões que fazem parte das dinâmicas das famílias. Agradeço ao meu irmão Martim Rocha, que vê o mundo através dos seus olhos de criança e que alegra qualquer pessoa com as suas ideias; espero que me veja como um exemplo a seguir.

Por fim, um enorme obrigado à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e a todo corpo docente, por permitirem experienciar todos os momentos que nela tive. Irá ser sempre uma casa onde estudei, vivi e triunfei.

Resumo

Numa época marcada pelos problemas ambientais e por conflitos entre nações pelo controlo de recursos, a problemática da escassez de água apresenta-se como uma das maiores ameaças ao desenvolvimento sustentável. A água residual surge assim como uma possível resposta a esta problemática.

A água residual é uma fonte alternativa de recursos hídricos, que com o devido tratamento, possibilita a obtenção de água e nutrientes, capaz de satisfazer algumas das necessidades atuais da sociedade e proteger o meio ambiente.

Neste contexto, o estudo do potencial de reutilização de água residual tratada, proveniente da ETAR da Base Aérea N.º 5, surge como uma oportunidade para comparar a viabilidade dos benefícios ambientais obtidos e os encargos associados ao mesmo. Para este efeito, recorreu-se a uma caracterização da própria Base Aérea, dos consumos de água e da qualidade do efluente, após o tratamento na ETAR existente. O confronto entre o volume necessário para os usos identificados, e o volume disponível, realizou-se através da estimativa dos consumos para usos não potáveis, e da sua comparação com o volume de água residual tratada proveniente da ETAR da Base Aérea N.º 5.

O atual regime de funcionamento da ETAR impede a obtenção de um efluente tratado com uma qualidade aceitável, face aos usos identificados. Deste modo, propõe-se a implementação de um tratamento terciário, capaz de permitir a obtenção de um efluente passível de ser utilizado. Posteriormente, os encargos associados ao projeto de reutilização foram obtidos com base em estimativas dos custos associados ao sistema de distribuição e às etapas de tratamento adicional a implementar. As estimativas de custos associados permitiram distinguir o sistema de distribuição, economicamente mais atrativo, e os encargos associados à implementação do projeto de reutilização.

Os resultados apurados, mostram que a implementação do projeto de reutilização representa um custo 19,7 vezes mais caro do que os custos atualmente comportados pela Unidade. Quando comparados com as tarifas aplicadas no Município de Leira este valor assume-se como 1,12 vezes mais caro que a tarifa mais elevada.

A elevada diferença entre os custos estimados e os suportados pela Unidade poderão resultar do dimensionamento para um volume diminuto, assim como o curto tempo de funcionamento previsto. Deste modo, o presente estudo permite evidenciar as condições existentes e servir de base para um eventual estudo técnico-económico mais aprofundado.

Palavras-chave: escassez hídrica; água residual tratada; potencial de reutilização; tratamento terciário.

Abstract

In an era marked by environmental problems and conflicts between nations over resource control, the water scarcity problem presents itself as one of the greatest threats to sustainable development. Thus, wastewater emerges as a possible response to this problem.

Wastewater is an alternative source of water resources which, with proper treatment, makes it possible to obtain a source of water and nutrients capable of meeting the current needs of society and protecting the environment.

In this context, the study of the potential for reuse of treated wastewater from the WWTP present in the Air Base No. 5 emerges as an opportunity to compare the viability of the environmental benefits and the economic burden associated with it. For this purpose, a characterization of the Air Base itself, the water consumption and effluent quality after treatment in the existing WWTP was conducted. The comparison between the volume required for the identified uses and the available volume is made by estimating the consumption for non-potable uses and its comparison with the volume of treated residual water from the WWTP of Air Base No. 5.

The current regime of operation of the WWTP prevents obtaining a treated effluent with an acceptable quality considering the identified uses. Thus, the implementation of tertiary treatment was necessary allowing to obtain an effluent that could be used. Subsequently, the costs associated with the reuse project were obtained based on estimates of the distribution system and additional treatment steps to be implemented. The associated cost estimates made possible to distinguish the more economically attractive distribution system and the costs associated with the implementation of the project.

The results show that the implementation of the reuse project represents a cost 19.7 times more expensive, than the Unit currently has. When compared to the rates applied in the municipality of Leira, this value is 1.12 times more expensive than the most expensive rate.

The high difference between the estimated costs and those incurred by the Unit may result from dimensioning the small volume needed and by the period predicted for the functioning of the project. Thus, the present study makes it possible to highlight the existing conditions and serve as an example or the basis for a more in-depth technical-economic study.

Keywords: water scarcity; treated wastewater; potential for reuse; tertiary treatment.

INDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO E ESTRUTURA	3
2.1	Objetivo	3
2.2	Estrutura	3
3	VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES URBANOS.....	5
3.1	Motivos para Valorização de Efluentes Urbanos	5
3.2	Possíveis Aplicações de Água Residual Tratada.....	6
3.3	Parâmetros de Qualidade de Água Residual Tratada	7
3.3.1	Agentes Microbiológicos Patogênicos.....	8
3.3.2	Produtos químicos orgânicos	11
3.3.3	Poluentes Químicos Inorgânicos.....	15
3.4	Instrumentos de Gestão	20
3.4.1	Planeamento Nacional de Água.....	21
3.4.2	Instrumentos Legais	23
4	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO.....	37
4.1	Tratamento Terciário	37
4.1.1	Filtração	37
4.1.2	Desinfecção.....	39
5	CASO DE ESTUDO	43
5.1	Objetivo	43
5.2	Metodologia	43
5.3	Caracterização do Local de Estudo - Base Aérea N.º5, Monte Real, Distrito de Leiria	43
5.4	Usos.....	46
5.5	Caracterização da ETAR da Base Aérea N. º5.....	49
5.5.1	Água Residual Tratada.....	50
5.5.2	Caracterização Quantitativa	50
5.5.3	Caracterização Qualitativa	52
5.6	Reutilização de Água na ETAR da Base Aérea N. º5	59
5.6.1	Estimativas de volumes de água a reutilizar	59
5.6.2	Limitações.....	61
5.6.3	Soluções.....	66
5.7	Estimativa de custos.....	70
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	73
	Referências Bibliográficas	75
	Anexos.....	85
	Anexo A	85
	Anexo B	87
	Anexo C	89

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 3.1 - Motivos, benefícios e fatores para implementação de água residual tratada</i>	6
<i>Tabela 3.2 - Potenciais aplicações de água residual</i>	7
<i>Tabela 3.3 - Agentes microbiológicos patogénicos usualmente presentes em águas residuais</i>	8
<i>Tabela 3.4 - Agentes microbiológicos patogénicos usualmente presentes em águas residuais e doenças associadas aos mesmos</i>	10
<i>Tabela 3.5 - Potenciais poluentes químicos orgânicos presentes na água</i>	15
<i>Tabela 3.6 - Potenciais poluentes inorgânicos presentes na água</i>	20
<i>Tabela 3.7 - Legislação portuguesa com referente à reutilização de águas residuais tratadas</i>	24
<i>Tabela 3.8 - Normas de qualidade de água para a reutilização para rega</i>	27
<i>Tabela 3.9 - Normas de qualidade de água para a reutilização para a rega, proteção das culturas agrícolas, florestais e solo</i>	27
<i>Tabela 3.10 - Descrição da classe de rega – Usos e níveis de tratamento adequado em função das várias classes de qualidade de água</i>	28
<i>Tabela 3.11 - Normas de qualidade de água para usos urbanos e paisagísticos- fora do contexto urbano</i>	29
<i>Tabela 3.12 - Níveis de tratamento adequados a cada uso urbano</i>	30
<i>Tabela 3.13 - Normas de qualidade de água para reutilização em uso industrial</i>	31
<i>Tabela 3.14 - Métodos de rega e processos associados aos mesmos, aquando o uso de água residual tratada</i>	31
<i>Tabela 3.15 - Concentrações máximas de metais pesados nos solos a regar com água residual tratada</i>	32
<i>Tabela 3.16 - Declives máximos associados a cada processo de rega</i>	33
<i>Tabela 3.17 - Distâncias mínimas entre zonas de rega e zonas de ocupação humana</i>	34
<i>Tabela 3.18 - Classes e Tipos de Cultura</i>	34
<i>Tabela 3.19 - Valores máximos admissíveis para os parâmetros de qualidade microbiológicas da água a reutilizar e esquemas de tratamento adequado, aquando a classe de culturas a regar</i>	35
<i>Tabela 4.1 - Níveis de tratamento e respetivas descrições</i>	37
<i>Tabela 4.2 – Qualidade expectável do efluente após os processos tecnológicos</i>	39
<i>Tabela 4.3 - Características de desinfetante químico ideal</i>	40
<i>Tabela 5.1 - Consumos médios de água na Base Aérea N.º5</i>	48
<i>Tabela 5.2 - Capitações totais de água na Base Aérea N.º5</i>	48
<i>Tabela 5.3 - Capitações estimadas de água para usos não potáveis</i>	49
<i>Tabela 5.4 - Consumos estimados de água para usos não potáveis</i>	49
<i>Tabela 5.5 - Caudais diários médios, mínimos e máximos de água residual tratada</i>	52
<i>Tabela 5.6 - Valores Médios, Mínimos e Máximos de pH</i>	53
<i>Tabela 5.7 - Valores Médios, Mínimos e Máximos de CBO₅ presentes no efluente tratado</i>	54
<i>Tabela 5.8 - Valores Médios, Mínimos e Máximos de CQO presente no efluente tratado</i>	55
<i>Tabela 5.9 - Valores Médios, Mínimos e Máximos de SST presente no efluente tratado</i>	56
<i>Tabela 5.10 - Valores Médios, Mínimos e Máximos de N_{Total} presentes no efluente tratado</i>	57
<i>Tabela 5.11- Valores Médios, Mínimos e Máximos de P_{Total} presentes no efluente tratado</i>	58
<i>Tabela 5.12 - Valores Mínimos, Médios e Máximos de Fe presente no efluente tratado</i>	58
<i>Tabela 5.13 - Valores Mínimos, Médios e Máximos de Zn presente no efluente tratado</i>	58
<i>Tabela 5.14- Valores Mínimos, Médios e Máximos de Pb presente no efluente tratado</i>	59
<i>Tabela 5.15 - Consumos das operações de manutenção, que requerem água da Base Aérea N.º5</i>	60
<i>Tabela 5.16 - Consumos das operações de manutenção, que requerem água da Base Aérea N.º5, assumindo uma margem de erro de 33%</i>	61
<i>Tabela 5.17 - Consumos totais de água proveniente dos furos, considerando 20% de perdas</i>	62
<i>Tabela 5.18 - Capitações e consumos diários de água para usos não potáveis, considerando 20% de perdas</i>	62
<i>Tabela 5.19 - Consumos totais de água proveniente dos furos, considerando 35% de perdas</i>	63

<i>Tabela 5.20 - Capitações e consumos diários de água para usos não potáveis, considerando 35% de perdas</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 5.21 - Valores de qualidade água para reutilização de acordo com usos</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 5.22 – Estimativa de custos do sistema de distribuição entre a ETAR e o Reservatório (PEAD 63)</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 5.23 - Estimativa de custos do sistema de distribuição entre a ETAR e o Reservatório (PEAD 75)</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 5.24 - Estimativas de custos associados à implementação do projeto na Base Aérea N.º5</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 5.25 – Tarifas aplicadas no Município de Leiria, custo suportado pela Unidade e custo do sistema a adotar</i>	<i>71</i>
<i>Tabela A6.1 - Processos de tratamento terciário e respetivas características e atributos</i>	<i>85</i>
<i>Tabela A6.2 – Diâmetros nominais escolhidos e respetivas espessuras e custos</i>	<i>87</i>
<i>Tabela A6.3 – Estimativa de custos do sistema de distribuição considerando PEAD 63</i>	<i>88</i>
<i>Tabela A6.4 - Estimativa de custos do sistema de distribuição considerando PEAD 75</i>	<i>88</i>
<i>Tabela A6.5 – Estimativas de custos associados ao projeto de reutilização na Base Aérea N.º5.</i>	<i>89</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 5.1 - Localização do Concelho de Leiria</i>	44
<i>Figura 5.2 - Localização da Base Aérea N.º 5 de Leiria</i>	44
<i>Figura 5.3 - Número médio anual de efetivos na Base Aérea N.º 5</i>	45
<i>Figura 5.4 - Total de horas referentes a operações de manutenção da base</i>	46
<i>Figura 5.5 - Consumo Anual de Água Proveniente dos Furos</i>	46
<i>Figura 5.6 - Consumo Médio Mensal Anual</i>	47
<i>Figura 5.7 - Consumo Anual de água por hora de manutenção</i>	47
<i>Figura 5.8 - Diagrama Linear da ETAR da Base Área N.º 5</i>	50
<i>Figura 5.9 - Caudais Mensais de Água Residual Tratada</i>	51
<i>Figura 5.10 - Caudais Médios Diários Mensais de Água residual Tratada</i>	52
<i>Figura 5.11 - Valores de pH da Água Residual Tratada</i>	53
<i>Figura 5.12 - Valores de CBO5 na Água Residual Tratada</i>	54
<i>Figura 5.13 - Valores de CQO Presentes no Efluente Tratado</i>	55
<i>Figura 5.14 - Valores SST Presentes no Efluente Tratado</i>	56
<i>Figura 5.15 - Valores N_{Total} Presentes no Efluente Tratado</i>	57
<i>Figura 5.16 - Valores de P_{Total} Presentes no Efluente Tratado</i>	58
<i>Figura 5.17 - Simbologia a Utilizar nos Locais e Produção de Águas para Reutilização</i>	65
<i>Figura 5.18 - Simbologia a Utilizar em Caso da Qualidade da Água para Reutilização ser Classe A ou B</i>	65
<i>Figura 5.19 - Simbologia a Utilizar em Caso de Restrição de Acesso</i>	66

LISTA DE ABREVIATURAS

Azoto Total (N_{Total})

Bisfenol A (BPA)

Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO)

Carência Química de Oxigénio (CQO)

Caudal médio diário (Q_{md})

Dia da Defesa Nacional (DDN)

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR)

Estação de Tratamento de Água Residual (ETAR)

Fósforo Total P_{Total}

Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR)

Matéria Orgânica Natural (MON)

Microfiltração (MF)

Nanofiltração (NF)

Norma Portuguesa 4434:2005 (NP 4434:2005)

Osmose Inversa (OI)

Plano de Gestão de Região Hidrográfica (PRGH)

Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PENSAAR)

Plano Nacional da Água (PNA)

População Permanente (hab)

Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA)

Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR)

Quociente de inteligência (QI)

Razão de Adsorção de Sódio (RAS)

Reatores Biológicos de Membranas (RBM)

Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR)

Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF)

Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)

Sólidos Suspensos Totais (SST)

Ultrafiltração (UF)

Ultravioletas (UV)

Water Exploitation Index (WEI)

LISTA DE SÍMBOLOS QUÍMICOS

Azoto (N)

Cádmio (Cd)

Cálcio (Ca^{2+})

Chumbo (Pb)

Chumbo (Pb)

Cloro (Cl^-)

Cobre (Cu)

Crómio (Cr)

Ferro (Fe)

Fósforo (P)

Magnésio (Mg^{2+})

Mercúrio (Hg)

Níquel (Ni)

Ozono (O_3)

Sódio (Na^+)

Zinco (Zn)

Zinco (Zn)

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a problemática da escassez de água potável tem vindo a acentuar-se como uma das maiores ameaças ao desenvolvimento sustentável da sociedade humana. O elevado crescimento populacional a nível mundial, a melhoria de condições de vida, a alteração dos padrões de consumo e da expansão agrícola, são considerados como as principais forças motrizes nas pressões sobre os recursos hídricos (Mekonnen & Hoekstra, 2016).

Por outro lado, a falta de controlo na poluição de origem antropogénica resulta na degradação da qualidade dos corpos de águas naturais, emergindo assim complicações no aproveitamento dos recursos hídricos relativamente à disponibilidade em quantidade e em qualidade, e ameaçando a satisfação das necessidades hídricas no panorama global (Monte & Albuquerque, 2010).

Importa referir que as alterações climáticas, fortemente impulsionadas pela poluição antropogénica, estão diretamente ligadas à disponibilidade hídrica, quer a nível espacial quer temporal, dado o facto de haver uma ligação indissociável entre o ciclo do carbono e o ciclo hidrológico (Duan et al., 2017). Deste modo, devido ao contínuo aumento da temperatura na terra, é expectável que o ciclo hidrológico sofra alterações profundas, modificando assim os padrões de precipitação a nível global bem como a frequência e a intensidade de eventos extremos (Distefano & Kelly, 2017). Em alguns casos, especialmente em regiões áridas ou semiáridas, os impactes resultantes das alterações climáticas nos padrões de precipitação e, consequentemente, no ciclo hidrológico e no solo, apresentam efeitos nefastos superiores aos efeitos combinados da concentração de dióxido de carbono na atmosfera e do aumento de temperatura, afetando, deste modo e de forma severa, a disponibilidade hídrica e, ainda, a produção de alimentos, ambos de extrema importância para o desenvolvimento da sociedade (Lu et al., 2019).

Os países cuja disponibilidade hídrica anual seja inferior a 1 700 m³ per capita, são designados como países em stress hídrico. Quando a mesma disponibilidade se encontra abaixo dos 1 000 m³ per capita, diz-se que se encontram numa situação de escassez de água (Giwa & Dindi, 2017). Atualmente, cerca de 2.1 mil milhões de pessoas, em todo o mundo vivem em Regiões Hídricas designadas como zonas de stress hídricos severo, evidenciando assim uma profunda disparidade relativamente ao acesso a recursos hídricos tanto a nível geográfico como social (Alcamo et al., 2000).

A região do Mediterrâneo é uma das áreas mais vulneráveis às alterações climáticas, prevendo-se um aumento de eventos extremos como secas e cheias, (Lavrić et al., 2017). É neste contexto que se encontra Portugal, embora seja um país pertencente à categoria de baixo estado de stress hídrico, quando comparado com outros países Mediterrânicos, como Espanha, Malta e Chipre. Porém, algumas regiões, especialmente no sul e no interior norte do país, encontram-se frequentemente com problemas de disponibilidade e de abastecimento durante o

verão (Carvalho-Santos et al., 2017). Importa reforçar esta ideia uma vez que, ao analisar *Water Exploitation Index* (WEI), o stress sobre os recursos hídricos no panorama nacional rondava os 15% em 2007. No entanto, o mesmo parâmetro, quando aplicado às várias regiões do país, apresenta uma enorme discrepância entre o país e as regiões que nele se integram, especialmente nas regiões hidrográficas do Sado e Mira e do Algarve, que se encontram sobre stress hídrico severo, aproximadamente 55 % e 79%, respetivamente no mesmo ano.

A necessidade de uma melhor gestão dos recursos hídricos surge assim como um dos maiores desafios da sociedade atual, e como um dos paradigmas mais importantes para um desenvolvimento sustentável e a problemática da escassez de água (Bakopoulou & Kungolos, 2009). Neste sentido, o uso sustentável dos recursos hídricos envolve o conceito de gestão integrada entre o ciclo urbano da água, estratégias de reutilização de água residual tratada e recuperação de energia (Pintilie et al., 2016).

A reutilização de águas residuais tratadas apresenta-se como uma solução estratégica e uma componente importante na abordagem aos recursos hídricos pela maioria dos países, visto ser um aspeto fundamental do conceito de economia circular e estar incluída nas diretivas da World Health Organization (WHO). A reutilização de águas residuais tratadas permite, deste modo, o uso eficiente dos recursos hídricos e a proteção do meio ambiente e dos corpos de água, ao promover estratégias seguras de descargas de água residual tratada e, também, criar prosperidade do ponto de vista económico e ambiental (Al-Jasser, 2011; Ponce-robles et al., 2020).

2 OBJETIVO E ESTRUTURA

2.1 Objetivo

A presente dissertação tem como objetivo avaliar o potencial de reutilização do efluente urbano produzido na Base Aérea nº 5, em Monte Real, Distrito de Leiria. Esta avaliação foi efetuada de acordo com a seguinte metodologia (1) caracterização da qualidade do efluente, (2) identificação dos possíveis usos, (3) avaliação de tratamentos complementares por forma a potenciar a valorização do efluente, ampliando os possíveis usos deste recurso hídrico e (5) estimativa de custos de possíveis tratamentos adicionais assim como o seu armazenamento e distribuição.

2.2 Estrutura

A dissertação encontra-se dividida em seis capítulos que se passa a descrever:

O capítulo um é composto pela “Introdução”, no qual é apresentada a problemática da escassez de água e as consequências inerentes, tanto na sociedade como no meio ambiente. A reutilização de água residual, foco central da presente dissertação, é apresentada como uma parte integrante, na abordagem da gestão dos recursos hídricos e consequentemente na problemática da escassez de água

No capítulo dois, “Objetivo e Estrutura”, são enunciados de forma clara, os objetivos que regem a presente dissertação, assim como a estrutura da mesma.

No capítulo três, “Valorização de Efluentes Urbanos”, são apresentados um conjunto de aspetos que justificam a reutilização dos efluentes, possíveis aplicações, qualidade dos efluentes, aspetos críticos e instrumentos de gestão.

O capítulo quatro, intitulado de “Tecnologias de Tratamento”, inclui a descrição de tecnologias de tratamento para a produção de água residual tratada e os tipos de qualidade associadas às mesmas.

O capítulo cinco inclui o caso de estudo, objeto central da presente dissertação, no qual é avaliada a potencialidade da valorização do efluente urbano produzido, em função da sua qualidade, e possíveis usos assim como a qualidade exigida relativamente a cada um desses usos, de acordo com a legislação. Integra ainda a adoção de possíveis tecnologias de tratamento adicionais e as respetivas estimativas de custos.

No capítulo seis apresentam-se as conclusões resultantes do estudo realizado no âmbito desta dissertação, assim como algumas recomendações.

3 VALORIZAÇÃO DE EFLUENTES URBANOS

A valorização de efluentes urbanos contribui para promover o uso sustentável dos recursos hídricos, permitindo, deste modo, uma melhor proteção dos mesmos bem como do meio ambiente. Este tipo de valorização ocorre, atualmente, a nível global de forma recorrente, tomando especial importância nos países do Médio Oriente, como Israel, onde a escassez de água levou a uma procura de alternativas mais sustentáveis do que as até então praticadas (Maryam & Büyükgüngör, 2019).

3.1 Motivos para Valorização de Efluentes Urbanos

A água é essencial para todo o desenvolvimento social-económico, assim como para manter ecossistemas saudáveis. À medida que a população aumenta e se desenvolvem as sociedades, é necessário cada vez mais água para fazer face às necessidades hídricas dos sectores da agricultura e da indústria, assim como às necessidades de água para usos domésticos. Deste modo, a pressão sobre estes recursos intensifica-se, levando a tensões e conflitos entre os utilizadores e a pressão excessiva no ambiente (United Nations Water, 2003).

O rápido crescimento populacional, observado nas últimas décadas, acompanhado de uma forte urbanização, poderá ver duplicada a área ocupada por cidades e infraestruturas a nível global de 2% para 4% até 2050. Este facto, conjugado com um contínuo crescimento económico e com uma rápida ascensão da classe média, cujos padrões de mobilidade e consumos se baseiam num uso intensivo de recursos, faz com que seja expectável um aumento na pressão já exercida nos habitats, particularmente, em regiões com uma elevada dependência de recursos naturais para o próprio desenvolvimento económico, como é o caso de África subsariana (EEA, 2015).

A valorização de água residuais surge como uma oportunidade muito atrativa do ponto de vista de conservação das reservas de recursos hídricos através da: (1) utilização dos efluentes recuperados para processos que não necessitem de recursos hídricos de elevada qualidade; (2) ampliação das origens hídricas, bem como fornecer alternativas de modo a assistir às necessidades hídricas tanto presentes como futuras; (3) proteção de ecossistemas aquáticos diminuindo a quantidade de nutrientes e outros compostos tóxicos que se encontram nos corpos de água; (4) diminuição da necessidade de estruturas de controlo hídrico (barragens) e (5) através de uma melhor gestão do consumo de água e das descargas dos efluentes (Asano *et al.*, 2007).

De acordo com Asano *et al.* (2007), existe um conjunto de motivações para que se valorizem os efluentes provenientes das ETAR, sendo que aquele se divide em três categorias: racionais, possíveis benefícios e fatores adicionais para a implementação da reutilização, que se resumem na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Motivos, benefícios e fatores para implementação de água residual tratada (Asano et al. 2007)

Motivações Racionais
A água é um recurso limitado e como tal a sociedade não pode permitir um que seja usado e descartado.
A qualidade da água recuperada é apropriada para vários usos não potáveis como a irrigação, na indústria entre outros. Deste modo, surge como uma fonte adicional de água, permitindo um uso mais eficiente da mesma.
O tratamento da água residual com vista à sua reutilização, possibilita um uso mais eficiente de energia e recursos, ao adaptar o nível de tratamento aos requisitos de qualidade, para que melhor sirvam os utilizadores finais.
Possíveis Benefícios
Conservação de reservas de água potável.
Melhoria na proteção de ecossistemas aquáticos, ao reduzir as descargas de efluentes.
Vantagens de foro económico, ao reduzir a procura de fontes suplementares, de recursos hídricos e as infraestruturas associadas. Uma vez que a valorização de efluentes é feita nas proximidades de centros urbanos, onde simultaneamente o preço da água potável é mais caro e há necessidade acrescida de abastecimento confiável.
Fatores adicionais para a implementação da reutilização
A água residual tratada é uma opção viável uma vez que se encontra imediatamente disponível nas proximidades de centros urbanos, mesmo em anos de seca devido ao facto de a produção de águas residuais ser constante ao longo do ano.
Sistemas que utilizem água recuperada para fins não potáveis têm operado nas últimas 4 décadas sem que tenha ocorrido um caso documentado de implicações adversas à saúde humana, tanto nos Estados Unidos da América como em outros países desenvolvidos.
A crescente pressão exercida nos recursos hídricos existentes devido ao aumento populacional, assim com a acrescida necessidade para satisfazer a agricultura.
O aumento da consciencialização ambiental e dos impactos associados a uma utilização inapropriada dos recursos hídricos.
Um maior reconhecimento dos impactos e custos ambientais e económicos associados as soluções mais convencionais relativamente ao armazenamento de água, como as barragens e reservatórios.
Os parâmetros de qualidade para descargas de efluentes no meio ambiente são cada vez mais restritos e conservadores, neste sentido o tratamento de águas residuais torna-se cada vez mais dispendioso, daí haver uma necessidade de alterar a visão atual relativamente ao destino final das águas residuais.

3.2 Possíveis Aplicações de Água Residual Tratada

A valorização de efluentes urbanos pode ser feita de forma transversal a todos os sectores, incluindo o da agricultura, que é o sector que mundialmente representa o maior consumo de água, o da recuperação de habitat, da rega de espaços verdes, como os campos de golfe, que por norma estão localizados em zonas de stress hídricos (campos de golf situados no Algarve), o sector da indústria, especialmente em processos que não exigem uma qualidade tão elevada, como a refrigeração; e a recarga de aquíferos, de modo a auxiliar a produção de água para consumo humana, desde que o efluente seja tratado de forma eficiente e cujo resultado final esteja de acordo com os parâmetros de qualidade necessários para um determinado uso (Monte, 2010).

De um modo geral a reutilização dos efluentes é realizada para fins não potáveis, como a rega de parques, limpeza de vias públicas, fins recreativos que implicam uma variedade de aplicações como a recarga de lagos ou charcos. Outros usos não potáveis incluem o combate a incêndios, recarga dos autoclismos assim como ar condicionados (De Gisi *et al.*, 2017).

Na Tabela 3.2 resumem-se algumas das categorias onde são utilizadas águas residuais tratadas e possíveis aplicações.

Tabela 3.2 - Potenciais aplicações de água residual (De Gisi et al., 2017)

Categorias	Aplicações
Rega agrícola	Irrigações de culturas.
Rega paisagística	Parques, recreios escolares, campos de golf, cemitérios, espaços residenciais.
Recuperação e reutilização Industrial	Água de refrigeração, água de processo, construção.
Recarga de Aquíferos	Abastecimento de reservas subterrâneas, controlo de intrusão salina.
Usos Recreativos/Ambientais	Recarga de lagos e charcos, produção de neve, aumento dos fluxos dos corpos de água, pesca, produção de gelo, recuperação de ecossistemas.
Usos urbanos não potáveis	Combate a incêndios, ar condicionados, autoclismos.
Usos Potáveis	Aumento de recurso hídricos através de mistura, tanto com a água proveniente dos reservatórios como de aquíferos.

A valorização de efluentes e a sua aplicabilidade diferem de região para região, uma vez que os climas ditam as necessidades hídricas, assim como as sociedades inerentes a cada região. Em países áridos e semiáridos a agricultura e rega paisagista seriam os maiores beneficiários da reutilização de efluentes uma vez que a disponibilidade hídrica é muito menor. Contrariamente, países como o Japão onde devido à elevada precipitação e densidade populacional nos centros urbanos, a reutilização é vocacionada maioritariamente para fins não potáveis (T. Asano *et al.*, 1996).

3.3 Parâmetros de Qualidade de Água Residual Tratada

As águas residuais, mesmo após o seu tratamento, contêm na sua constituição compostos químicos e organismos microbiológicos que não são removidos na totalidade, ou completamente inativados. A presença de tais constituintes pode representar um perigo tanto para a saúde humana como para o ambiente (Monte & Albuquerque, 2010).

Sendo que a reutilização de águas residuais tratadas constitui um processo complexo e perigoso, se for desenvolvido de forma incauta, deve haver um profundo e extensivo conhecimento relativamente às características associadas a cada água, tanto a nível quantitativo (caudais e flutuações), como qualitativo, permitindo deste modo uma melhor gestão das

mesmas. De facto, a aplicabilidade difere de acordo com a disponibilidade quantitativa e qualitativa das águas anteriormente ao tratamento e após tratamento, de modo a cumprir com os requisitos necessários para uma valorização adequada (Marecos & Albuquerque, 2010).

A utilização de água residual não tratada ou, de modo geral, água poluída, constitui um grave risco para a saúde humana, uma vez que estas águas normalmente contêm agentes patogénicos associados às excreções, incluindo vírus, bactérias, protozoários, parasitas multicelulares e agentes químicos prejudiciais, como pesticidas ou metais pesados (Bos *et al.*, 2009).

3.3.1 Agentes Microbiológicos Patogénicos

As águas residuais, ou mesmo reservas de águas nas quais haja descargas de águas residuais, normalmente contêm organismos patogénicos similares aos encontrados nas excreções humanas. Os agentes de doenças infecciosas associadas às excreções que são libertadas pelos indivíduos infetados ou animais podem, em alguns casos, alcançar outras pessoas através da via oral, transmissão denominada de caminho fecal-oral, quando são ingeridos alimentos contaminados, ou através do contacto com a pele quando esta entra em contacto com larvas, por exemplo. Estes organismos patogénicos estão repartidos em 4 grandes grupos: bactérias, protozoários, helmintas e vírus (Bos *et al.*, 2009 ; Westcot, 1997), sobre os quais se passa a explicar um pouco mais.

Na tabela 3.3 são apresentados os vários grupos que representam organismos patogénicos e alguns exemplos dos mesmos.

Tabela 3.3 - Agentes microbiológicos patogénicos usualmente presentes em águas residuais (Asano et al 2007; Monte 2010; National Research Council 2012)

Agentes Microbiológicos Patogénicos	Exemplos
Bactérias	Enterocci, clostridium perfringens, coliformes totais, coliformes fecais, salmonela, Pseudomas aeroginos
Protozoários	Cistos de Giardia lambia, Cistos de Entamoeba, Cistos de Cryptosporidium parvum
Helmintas	Ovos de Ascaris lumbricoides
Vírus	Colifagos, vírus entéricos

Bactérias

Existe uma clara ligação entre a exposição a águas residuais não tratadas e doenças infecciosas como a *E.coli*, a *Salmonella* e a cólera. Embora a utilização de água residual não tratada na agricultura apresente graves riscos para a saúde pública, nomeadamente para os agricultores e os consumidores, a sua utilização é aceite e considerada de extrema importância para os agricultores, especialmente nas regiões afetadas pela escassez de água ou

economicamente empobrecidas (Sarah K. Dickin, Corinne J. Schuster-Wallace, Manzoor Qadir, 2016).

Surge assim a necessidade de um maior controlo e monitorização das águas residuais. Deste modo, a identificação de fontes de contaminação fecal, podendo estas serem de origem antropogénica ou de origem animal, é realizada com o recurso de indicadores como *E.colli* e, ou *enterococcus* (Fogarty et al., 2003).

A utilização de *E.colli* deve-se ao facto de, com algumas exceções, não sobreviver fora do intestino grosso de animais de sangue quente. Se a sua presença for detetada em amostras alimentares ou de água, por norma indica que ocorreu uma contaminação recente no meio de onde as amostras foram retiradas. A presença de *E.colli* em amostras não significa, necessariamente que ocorre a presença de microrganismos patogénicos, mas que existe o risco adicional de subsistirem outras bactérias e vírus de origem fecal (Odonkor & Ampofo, 2013).

Protozoários

A gastroenterite é uma doença comum que pode ser causada por uma variedade de agentes patogénicos. No entanto, a grande maioria dos casos de gastroenterite é causada por protozoários (Berglund et al., 2017). Os cistos e oocistos de espécies como a *Giardia* e *Cryptosporidium* são extremamente resistentes e não são assim tão facilmente detetáveis, no entanto, a sua dose infetante pode ser tão baixa como apenas um cisto ou oocisto. Como são difíceis de detetar na água constituem um risco acrescido para a saúde humana (WOK, 1996).

Helmintas

Os helmintas são conhecidos comumente como *parasitic worms* e são os agentes infecciosos mais comuns em países em desenvolvimento, representando um perigo a nível mundial. Atualmente, é estimado que um terço dos quase 3 mil milhões de pessoas que vivem em regiões em desenvolvimento, na África subsariana, na Ásia e na América Central e do Sul, estão infetadas com um ou mais helmintas. Os helmintas mais relevantes são *Trichinella*, *Nescator*, *Ascaris* e a *Filaria* devido à gravidade das doenças que transmitem (Hotez et al., 2008; Monte & Albuquerque, 2010).

Vírus

Um grande número de vírus é excretado tanto nas fezes humanas como na urina, os quais, mesmo em pequenas concentrações, são extremamente infecciosos, havendo uma elevada possibilidade de provocar doenças. A necessidade de abastecimento de água de elevada qualidade induz pressão tanto nas políticas ambientais como nas ambientais de modo a garantir, do ponto de vista microbiológico, uma água segura. Indicadores biológicos como os coliformes fecais são utilizados, para avaliar a eficiência de remoção de contaminação fecal nos processos de tratamento de água. No entanto, comprovou-se que estes indicadores não são capazes de prever a existência de vírus ou protozoários (Albinana-Gimenez et al., 2006).

O tratamento insuficiente da água residual tratada, relativamente aos agentes patogénicos virais que são abundantes em águas residuais não tratadas, constitui um dos problemas associados à reutilização de água residual tratada.

Adicionalmente, a concentração de vírus numa água tratada varia de acordo com o tipo de tratamento utilizado, a estação do ano, a área geográfica e as condições de higiene dentro da comunidade, tornando a sua ocorrência algo imprevisível e difícil de padronizar (Kitajima *et al.*, 2014).

Apresentam-se na Tabela 3.4 alguns agentes microbiológicos, doenças e sintomas provocados pela sua presença na água.

Tabela 3.4 - Agentes microbiológicos patogénicos usualmente presentes em águas residuais e doenças associadas aos mesmos (Monte 2010)

Agentes patogénicos	Doenças e sintomas
Bactérias	Gastroenterite Enterite Diarreia Febre tifoide Febre paratifoide Salmoneloses Disenteria bacilar Cólera Septicemia
Protozoários	Diarreia Disenteria amibiana Úlcera do cólon
Helmintos	Ancilostomíase Ascaridíase Enterobíase Himenolepíase Ancilostomíase Estrongiloidíase Teníase Tricuríase
Vírus	Paralisia Meningite asséptica Doenças respiratórias Hepatite A Conjuntivite aguda Miocardite Pericardite Doenças cardíacas congénitas Infeções respiratórias Gastroenterites

3.3.2 Produtos químicos orgânicos

Os denominados contaminantes emergentes são substâncias químicas sobre as quais não foram definidos limites máximos na legislação dos países da União Europeia, ou substâncias químicas cujos limites foram apresentados, mas que necessitam de ser revistos (Vandermeersch *et al.*, 2015).

Os contaminantes emergentes constituem uma vasta gama de químicos sobre os quais existem pouca informação relativamente à toxicidade dos mesmos, à sua ocorrência e às suas consequências no meio ambiente. Inseridos nesta classe de contaminantes estão uma série de produtos, nomeadamente farmacêuticos, domésticos, higiene, determinados compostos industriais e alguns pesticidas (Meador *et al.*, 2016).

Produtos farmacêuticos e de higiene

Os produtos farmacêuticos são definidos como medicamentos, passíveis de serem adquiridos com ou sem prescrição médica, usados no tratamento de doenças tanto em seres humanos como animais. Já os produtos de higiene são geralmente produtos com o intuito de melhorar a qualidade de vida no dia a dia (Jennifer *et al.*, 2017).

Nas últimas décadas, os produtos farmacêuticos assim como de higiene receberam a classificação de contaminantes emergentes, esta classificação surge devido à sua persistência nos meios aquáticos, mesmo após o tratamento realizado na ETAR. Existem várias vias, pelas quais os denominados contaminantes emergentes podem surgir no meio ambiente, as mais recorrentes englobam as águas residuais domésticas, descargas hospitalares, tratamento inadequado por parte de ETAR e ainda descargas inapropriadas por parte dos produtores (Yang *et al.*, 2017).

A persistência destes contaminantes no meio ambiente suscita preocupação, especialmente na comunidade científica, como consequência das implicações tóxicas que poderão afetar especialmente organismos aquáticos, como os peixes, pois são criados para maximizar a atividade biológica em doses reduzidas e para afetar determinados mecanismos metabólicos, enzimáticos e mecanismos de comunicação intercelular, podendo afetar, então, os organismos não-alvo (Jennifer *et al.*, 2017).

Os tratamentos biológicos convencionais, no que se refere ao tratamento de águas residuais, nomeadamente sistemas de lamas ativadas, são sistemas com alguma capacidade para remover produtos farmacêuticos e de higiene presentes nos afluentes. No entanto, a grande variedade de compostos presentes na água e as suas propriedades físico-químicas, aliada às condições ambientais, à configuração dos reatores e aos parâmetros operacionais, induzem uma variação drástica na eficiência de remoção dos produtos farmacêuticos e de higiene presentes em águas residuais (Wang & Wang, 2016).

Químicos industriais

O tratamento de águas residuais indústrias é um problema complexo, dada a grande variedade de indústrias que produzem poluentes químicos, como fertilizantes, tintas, têxteis, pigmentos, entre outros (Bhandari *et al.*, 2016). Dada a complexidade das moléculas, por norma bio refratárias, a sua remoção revela-se difícil, especialmente através de métodos de tratamento convencionais, como os biológicos (Saharan *et al.*, 2014).

As águas residuais contêm uma larga gama de compostos tóxicos como pesticidas, compostos industriais, como os policlorobifenilos e subprodutos resultantes da desinfecção. Muitos destes compostos tornam-se difíceis de identificar devido à falta de técnicas de análise adequadas e capazes de identificar estes compostos em baixas concentrações. Estes poluentes podem apresentar características cancerígenas e efeitos mutagénicos; adicionalmente muitos são disruptores químicos endócrinos que poderão interferir com as funções hormonais nos seres humanos e animais (Elgallal *et al.*, 2016).

Pesticidas

Embora a maioria da aplicação dos pesticidas seja feita no ambiente exterior, e não seja expectável que haja descargas diretas nas redes de esgoto, alguns pesticidas encontram-se presentes nas águas residuais. As origens destas ocorrências não são completamente conhecidas, no entanto, é provável que provenham de residuais nos produtos alimentares, de tratamentos veterinários como a higiene animal, produção e manutenção de matadouros e de alguma lixiviação dos terrenos para os coletores de águas residuais (*National Research Council*, 2012).

A grande maioria das produções agrícolas dependem do uso de químicos para manterem um alto rendimento agrícola. O uso destes químicos na agricultura moderna é vista como parte integrante do sucesso da indústria agrícola, todavia, muitos destes pesticidas aplicados nos terrenos podem afetar organismos não alvo e contaminar tanto os solos como corpos de água (Margni *et al.*, 2002).

Os pesticidas fazem parte das poucas substâncias tóxicas utilizadas deliberadamente no ambiente para matar organismos vivos, como ervas-daninhas, insetos e fungos. Embora a agricultura mundial represente 85% do consumo destes produtos, existem outras aplicações incluindo ações de proteção da saúde humana (controlo de doenças transmitidas através de vetores como a malária e o dengue), no controlo de espécies indesejáveis em paisagens ornamentais e no controlo da proliferação de insetos, bactérias e fungos. Contudo, a exposição não intencional a pesticidas pode ser extremamente perigosa para seres humanos e outros organismos vivos, uma vez que estes produtos são criados para serem tóxicos (Kim *et al.*, 2017).

Os pesticidas são maioritariamente benéficos, quando utilizados em situações específicas e aplicados de acordo com as recomendações dos produtores, porém, com o decorrer dos anos, existe uma crescente preocupação com o seu uso indevido e indiscriminado, devido à possibilidade de existirem resíduos, na cadeia alimentar que podem provocar efeitos adversos a seres humanos e animais. O uso do DDT é um exemplo deste tipo de situações.

Criado durante a segunda guerra mundial o DDT era considerado um químico ideal dada à sua eficiência no controlo da malária, infestações e insetos, contudo, anos depois, os seus efeitos negativos na vida animal e nos seres humanos tornaram-se do conhecimento de toda a comunidade científica (Chauhan & Singhal, 2006).

A aplicação de pesticidas na agricultura é feita com o auxílio de várias técnicas, como por exemplo a aspersão manual por parte dos agricultores e a aspersão com auxílio de aviões. Muitos dos casos documentados de intoxicação de agricultores, trabalhadores rurais e das suas famílias, ocorreram durante a aplicação de pesticidas. Cerca de 355000 mortes ocorrem anualmente a nível mundial devido a intoxicações não intencionais associadas ao uso excessivo e inapropriado destes químicos tóxicos (Carvalho, 2017).

Químicos domésticos e aditivos alimentares

Existem vários tipos de químicos utilizados nas mais variadas situações: de limpeza doméstica como os desinfetantes, nas pinturas e, ou na preparação de alimentos (*National Research Council*, 2012). O bisfenol A (BPA) é um exemplo deste tipo de compostos presentes em vários produtos, como plásticos (policarbonatados), comida enlatada assim como bebidas, cortinas de chuveiros e protetores de almofadas (Bhatnagar & Anastopoulos, 2017). É um conhecido disruptor endócrino extremamente tóxico para animais, assim como para o ser humano. No ser humano, especialmente no sexo masculino, o BPA pode interferir com a função reprodutora. A exposição humana ao BPA é considerada como uma das hipóteses do aumento de infertilidade, de anormalidades no sistema reprodutor e de cancro da mama, nas populações dos Estados Unidos e União Europeia nas ultimas décadas (Vandenberg et al., 2007).

Químicos que ocorrem naturalmente

Os seres humanos e os animais excretam constantemente para o meio ambiente hormonas naturais, entre estas, as que representam uma maior preocupação são a estrona e o 17 β -estradiol, uma vez que os seus efeitos fisiológicos ocorrem mesmo em concentrações menores do que outras hormonas. Existem várias possibilidades, para a origem da poluição hormonal, sendo a mais relevante as águas residuais domésticas caracterizadas pela presença de várias hormonas como estrona, estradiol testosterona, e o estriol (Barel-Cohen *et al.*, 2006).

De facto, existe uma crescente preocupação relativamente à incidência crescente de casos de disfunções reprodutivas, de desenvolvimentos anormais na vida selvagem e fertilidade reduzida nos seres humanos do sexo masculino, podendo estes problemas resultar da descarga de disruptores endócrinos para o meio ambiente. Possivelmente uma das evidências mais transparentes dos efeitos de disruptores endócrinos na vida selvagem são as anormalidades observadas na reprodução de vários peixes e répteis expostos a efluentes provenientes de ETAR e possivelmente lixiviações agrícolas. A agricultura pode ser uma possível fonte de disruptores endócrinos no meio ambiente devido ao uso de certos pesticidas, a utilização de bio sólidos provenientes de ETAR ou aplicação de resíduos excretados pelo gado, ricos em hormonas como a estrona e o estradiol (Colucci *et al.*, 2001).

Muitas ETAR municipais permitem uma redução parcial de compostos estrogénicos, mas, no entanto, após o tratamento, as concentrações presentes ainda são superiores às concentrações que afetam formas de vida aquáticas, como é o caso dos peixes. O tratamento com recursos a técnicas de ozonização, radiação Ultra Violeta, filtração com membranas, osmose inversa e utilização de carvão ativado são potenciais técnicas de tratamento, que poderiam melhorar a eficiência de remoção de estrogénio, nas águas residuais municipais, porém, estas aplicações encarecem o custo de tratamento de águas residuais (Meng *et al.*, 2005).

Produtos transformados

Quando os micro poluentes são degradados no meio ambiente podem originar produtos transformados tóxicos e persistentes, que devem ser tomados em conta nas análises de risco ambiental dos compostos de onde derivam (Escher & Fenner, 2011).

A utilização de cloro é considerada, há mais de um século, como sendo eficaz e o é o método de desinfecção adotado, no controlo de doenças infecciosas transportadas por vias aquáticas. Não obstante, a identificação de alguns subprodutos resultantes da desinfecção com recurso a cloro, que são potencialmente perigos para a saúde, criaram uma conflitualidade entre o uso de algumas espécies químicas que podem, devido a transformações, originar subprodutos e o risco de organismos patogénicos em águas de abastecimento (Marinel la Farré *et al.*, 2008).

As ETAR têm especial importância no ciclo de vida de produtos de higiene, farmacêuticos, estupefacientes e os seus produtos transformados, na sociedade atual. Este facto deve-se, especialmente, porque as principais vias de transporte destes compostos para o meio ambiente serem as ETAR, onde nos processos de tratamento apenas parte dos compostos são eliminados. A eficiência de remoção destes compostos poderá ser afetada pelo tipo de processo de remoção utilizado, ou devido às propriedades físico-químicas dos poluentes tratados que são vastas e variadas, impedindo assim um tratamento padrão (Evgenidou *et al.*, 2015).

O grande desafio em identificar produtos transformados nas ETAR deve-se à falta de conhecimento sobre o processo de transformação destes compostos, tornando os estudos que visam quantificar e analisar o risco ambiental de produtos transformados quase impossível ou incertos (Helbling *et al.*, 2010).

A formação de subprodutos resultantes de processos de desinfecção levanta assim algumas preocupações, a nível global, sobre a segurança da desinfecção com recurso ao cloro e a escolha de possíveis desinfetantes alternativos para o controlo da formação de subprodutos, os seus efeitos cancerígenos, mutagénicos e a sua teratogénese (Tian *et al.*, 2013).

A matéria orgânica natural (MON), presente nos corpos de água, é uma complexa mistura de vários compostos orgânicos como proteínas, hidratos de carbono entre outras substâncias, resultante da decomposição natural de vegetação e de organismos aquáticos. Em sistemas de distribuição de água a MON pode servir, como fonte de carbono para o crescimento de microrganismos nos sistemas de distribuição de água. As várias classes de compostos orgânicos na MON, podem reagir de forma diferente, com determinados produtos de desinfecção,

existindo assim a possibilidade de formação de subprodutos. A presença de MON na água tem, deste modo, um impacto significativo nos processos de tratamento e na qualidade do efluente e é um fator crítico na determinação nas doses de desinfetantes necessárias ao tratamento (Q. Zheng et al., 2016).

Na tabela 3.5 apresentam-se alguns exemplos de poluentes químicos orgânicos previamente discutidos.

Tabela 3.5 - Potenciais poluentes químicos orgânicos presentes na água (Asano et al 2007; Monte 2010; National Research Council 2012)

Poluentes Químicos Orgânicos	Exemplos
Químicos Industriais	Tetracloroetano
Pesticidas	Atrazina, Lindano
Químicos naturais	Geosmina, Hormonas
Produtos farmacêuticos	Analgésicos, Contracetivos, Antibióticos
Produtos de higiene pessoal	Protetor solar, Triclosan
Produtos Domésticos	Bisfenol A, Retardante de chamas
Produtos transformados	NDMA (N-nitrosodimetilamina), Triborometano

3.3.3 Poluentes Químicos Inorgânicos

De um modo geral, as águas residuais contêm uma variedade de compostos, orgânicos e inorgânicos, como por exemplo: metais, nutrientes e sais. A agregação dos vários constituintes inorgânicos presentes numa água é avaliada em Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e condutividade, não obstante estes valores poderão ser afetados por contribuições de alguns constituintes orgânicos (National Research Council, 2012).

Metais e metaloides

Os metais pesados são o tipo de contaminante mais importante, e que pode ser encontrado na superfície e nos próprios tecidos dos legumes frescos. A utilização de águas residuais domésticas ou industriais para a rega agrícola, é apontada como a principal causa de acumulação de metais pesados nos alimentos. A ingestão de vegetais criados em ambientes poluídos representa um grave risco para a saúde humana, pelo facto de que os vegetais terem a capacidade de acumular, em grandes concentrações, vestígios de metais pesados (Gupta et al., 2008).

Os solos atuam como filtros naturais de químicos tóxicos, podendo adsorver e reter metais pesados provenientes de águas residuais. No entanto, quando existe uma descarga contínua de águas ricas em metais pesados e, ou alterações do pH do solo, estes podem perder a sua capacidade de retenção. Deste modo os metais poderão ser libertados para corpos de água subterrâneos, ou tornarem-se disponíveis para assimilação por parte das plantas (Mapanda et al., 2005).

A maior ameaça à saúde humana, relativamente a metais pesados deve-se à exposição de metais como o chumbo, o cádmio, o mercúrio e o arsénio (Järup, 2003). O arsénio é um dos metais pesados mais importantes, pelo facto de ser o 20.º elemento mais abundante no planeta, ser proeminentemente tóxico e cancerígeno. Deste modo é letal para os humanos e para os animais, ao passo que no ambiente impede o crescimento das plantas, reduzindo a capacidade reprodutiva e de produção de frutos (Jaishankar *et al.*, 2014).

O chumbo é um metal pesado, extremamente tóxico, que causou extensos problemas de contaminação ambiental e problemas de saúde devido ao seu uso generalizado. Os processos industriais, a alimentação, o tabagismo e a ingestão de água contaminada são, maioritariamente, as principais causas de exposição humana. No meio ambiente este metal provoca distúrbios fisiológicos nas plantas, uma vez que ao contrário de outros metais como o zinco, não têm nenhuma função biológica suprimindo de forma geral o crescimento da planta (Jaishankar *et al.*, 2014).

O mercúrio é um metal pesado, tóxico e extremamente bioacumulável, cuja presença ameaça de forma significativa os ecossistemas aquáticos. Atividades antropogénicas como a descarga de água residual, agricultura, mineração, inceneração e descargas de efluentes industriais são as principais causas de poluição envolvendo mercúrio. Em solução aquosa, o mercúrio apresenta uma baixa solubilidade e é facilmente adsorvido por partículas suspensas na água. Através de uma série de processos naturais, o mercúrio, acaba por acumular nos sedimentos, permitindo, através da quantificação de mercúrio presente nos mesmos, avaliar o estado de poluição de um determinado corpo de água (C.-W. Chen *et al.*, 2012).

A doença de Minamata é uma das primeiras e mais sérias doenças que resultaram da contaminação ambiental provocada pela descarga de águas residuais, proveniente de uma indústria química situada em Minamata. Um dos componentes presentes nessa água, metilmercúrio (MeHg) contaminou assim a vida marinha presente, principal fonte de alimento da população, e por sua vez afetou toda a população. Em 1995 foram diagnosticadas oficialmente 2252 pessoas com a doença de Minamata, das quais 1043 morreram (Harada, 1995).

Sais

A salinidade de uma água é caracterizada pela presença de sais dissolvidos e avaliada por vários parâmetros, sendo a condutividade elétrica o mais importante. Através dos SDT que englobam os voláteis (SDV) e os fixos (SDF), assim como as concentrações de determinados iões como o Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Cl^- , é possível identificar a predominância dos maiores contribuintes para a salinidade de uma água (Monte & Albuquerque, 2010).

A remoção de sais nas águas residuais é, de um modo geral, um processo caro pelo facto de que, a remoção através de processos de tratamento convencionais apresente baixos níveis de eficiência. Deste modo é necessário recorrer a técnicas de permuta iónica ou tratamentos mais avançados como a Osmose Inversa (OI), para alcançar a remoção desejada, mas inviabilizando economicamente a produção de águas destinadas à agricultura. A presença de sais numa água, por norma, não excede os valores impostos por lei de modo a evitar que

afetem a saúde humana, no entanto, o excesso dos mesmos resulta em preocupações sensoriais como por exemplo o odor e o sabor (Elgallal et al., 2016).

A qualidade da água reutilizada é de extrema importância, pelo facto de que a salinidade da água e determinados iões presentes na sua constituição, podem provocar efeitos nefastos que afetam tanto as plantas, como a permeabilidade dos solos. O excesso de sódio, medido através da Razão de Adsorção de Sódio (RAS ou SAR em inglês), afeta o solo alterando a sua estrutura, especialmente à superfície, podendo provocar a compactação do solo o que reduz, desse modo, a taxa de infiltração de água. Pode provocar ainda uma alteração na nutrição mineral das plantas, como por exemplo a falta de cálcio. O excesso de iões de cloro (Cl^-) provoca, em plantas sensíveis, danos nas suas folhas e, em casos mais severos, desfoliação e morte. A presença de espécies azotadas na água reutilizada poderá representar um perigo, se estas não forem absorvidas pelas plantas, havendo a possibilidade de contaminação de corpos de água subterrâneos (Tanji et al., 2007).

Os sistemas aquáticos compostos por rios, zonas ripárias e zonas húmidas serão os sistemas mais afetados pela salinização uma vez que estas zonas, por norma, encontram-se a altitudes mais baixas, onde os sais se poderão acumular (Goodman et al., 2010).

Sais oxidantes

A oxidação de halogenetos resulta na formação de sais oxidantes extremamente solúveis e potencialmente tóxicos como o perclorato, o iodato e o bromato. A presença destes químicos nas massas de água, representa um sério problema tanto para as indústrias de água engarrafada, como para as entidades municipais encarregues do abastecimento de água (Snyder et al., 2009).

O perclorato é um anião que pode formar sais com vários elementos como o sódio e o potássio: estes sais são extremamente solúveis na presença de água e dificilmente adsorvidos pelos minerais e matéria orgânica presente nos solos. Além destas propriedades, o perclorato é dificilmente reduzido devido a uma elevada barreira de energia cinética. Consequentemente, devido a esta elevada estabilidade, pode permanecer nas massas de água tanto superficiais como subterrâneas durante décadas sem sofrer alterações (Ting & Steinmaus, 2011).

O perclorato encontra-se associado à libertação de perclorato de amónia proveniente, maioritariamente, de atividades militares (fabrico de munições, sistemas de propulsão de rockets e mísseis), projetos aeroespaciais e fogo de artifício. Devido à similaridade em tamanho, densidade e carga elétrica o ião perclorato é, por vezes, erradamente absorvido pela glândula da tiroide (Todd, 2002).

Recentemente provou-se que os percloratos, entre outros produtos tóxicos como bromatos e cloratos, resultam da utilização de determinados agentes desinfetantes nos processos de tratamento de água. Também podem resultar como impurezas dos mesmos, como é o caso da utilização do hipoclorito de sódio, no qual as concentrações destes subprodutos tóxicos tendem a aumentar de acordo com o seu tempo de armazenamento (Asami et al., 2009).

São vários os efeitos adversos observados através de ensaios laboratoriais em animais e em seres humanos expostos ao perclorato, nomeadamente a interferência com a produção de hormonas por parte da tiroide. Após absorvido o perclorato impede a absorção de iodo na tiroide, resultando num défice de iodo, que por consequência, diminui a produção de certas hormonas, induz um aumento anormal da tiroide e bócio. Crianças e fetos em desenvolvimento são considerados particularmente suscetíveis a défices de iodo, devido às alterações irreversíveis que ocorrem durante o desenvolvimento do sistema nervoso central. Por outro lado, a insuficiência de iodo durante a gravidez está relacionada com efeitos adversos no desenvolvimento neuropsicológico e um decréscimo no quociente de inteligência (QI) dos descendentes (Ting & Steinmaus, 2011).

O bromato resultante do tratamento de águas que contenham bromo, com recurso a processos de oxidação, é um outro subproduto tóxico de especial importância uma vez que é classificado como potencialmente cancerígeno pela Agência Internacional de Pesquisa em Cancro (Von Gunten & Oliveras, 1998).

Nutrientes

Os subprodutos excretados pelo ser humano, são ricos em azoto e fósforo e o próprio corpo humano metaboliza e excreta ambos os elementos em várias formas. A presença destes elementos no meio ambiente pode criar graves problemas ambientais, mas, no entanto, inclui potenciais benefícios, especialmente quando focados em determinados usos como é o caso da rega agrícola. Deste modo a necessidade de remoção de nutrientes durante o tratamento para reutilização depende maioritariamente do objetivo final para essa água (*National Research Council*, 2012).

A eutrofização é um problema global resultante da contínua poluição de corpos aquáticos oligotróficos com nutrientes como o azoto e o fósforo, excedendo as concentrações limites para o crescimento ideal. Dos nutrientes referidos o fósforo é considerado como o elemento limitante em águas interiores, uma vez que a maioria das cianobactérias são capazes de satisfazer a sua necessidade de azoto através da fixação do azoto atmosférico (Seviour *et al.*, 2003).

O azoto presente em águas residuais tratadas, quando utilizadas para irrigação pode ser problemático se os nitratos não forem absorvidos pelas plantas devido à sua alta solubilidade na água. Como consequência são removidos do solo, poluindo assim outros cursos de água e aquíferos. É imperativo, deste modo, ajustar a quantidade de azoto a adicionar aos solos tendo em conta a sua concentração nas águas residuais a utilizar, em complementaridade com a utilização de fertilizantes (Jiménez, 2006).

No caso do fósforo se a sua concentração for elevada, acima dos valores normalmente encontrados numa água residual municipal, reduz a disponibilidade de determinados elementos em solos alcalinos como o cobre, o ferro e o zinco (Jiménez, 2006). A reciclagem do fósforo toma especial importância devido às suas limitadas reservas, e ao atual modelo de gestão que têm como tendência o uso intensivo em vez da conservação (Sala & Serra, 2004).

O azoto é maioritariamente libertado para a atmosfera, através da desnitrificação em corpos de água, nos quais ocorrem descargas de efluentes, ao passo que o fósforo, apenas pode ser libertado através de descargas de efluentes, dado o facto do ciclo bioquímico não conter uma fase aérea. Deste modo se os efluentes tratados fossem utilizados para a irrigação agrícola, ambos elementos seriam parcialmente assimilados por parte dos vegetais, reduzindo potencialmente custos com fertilizantes bem como os níveis de eutrofização atuais (Sala & Serra, 2004).

Nanomaterias

O rápido crescimento do campo da nanotecnologia, aliado a uma utilização intensiva de nanomaterias, reflete-se na presença acrescida de nanomateriais na biosfera (Louie *et al.*, 2014). Os nanomateriais variam entre si, além dos elementos constituintes, pela sua dimensão podendo apresentar: 1) dimensão que incluem nanopartículas e nanofibras (e.g. nanotubos de carbono); 2) dimensões (e.g. grafeno) e 3) dimensões (e.g. fulereno). As dimensões destes materiais compreendem, normalmente, os 1 a 100 nanómetros (Baimova *et al.*, 2014; Khan *et al.*, 2017; Ramesh, 2009).

A evolução da nanotecnologia, aliado a outros campos como por exemplo a biotecnologia, permitiu a utilização de nanomateriais nos mais diversos campos. Atualmente, estes tipos de materiais podem ser encontrados no tratamento de águas residuais, nos processos industriais, na indústria alimentar, na medicina, e ainda em produtos do dia-a-dia (Khot *et al.*, 2012). Este facto deve-se, nomeadamente, pelo facto de os nanomateriais apresentarem características peculiares, como a sua estrutura, flexibilidade, propriedades magnéticas, uma elevada razão entre a sua superfície e o volume, o que permite um maior número de interações químicas e físicas, apresentando uma elevada reatividade (H. Zheng *et al.*, 2011; Heuer-Jungemann *et al.*, 2019).

À medida que o consumo de produtos que contêm nanomateriais aumenta é expectável que haja um progressivo acumular de nanomateriais no meio ambiente (Wu *et al.*, 2018). Este aumento levanta algumas preocupações porque, embora as aplicações de nanomateriais sejam benéficas, surgem efeitos inesperados da utilização das mesmas como a toxicidade de vários organismos aquáticos, crustáceos, células procariontes e eucariontes e plantas (Suresh *et al.*, 2013). Nanopartículas de prata constituem um bom exemplo, visto serem uma das nanopartículas mais produzidas e comercializadas a nível global, devido à sua capacidade antibacteriana. No entanto esta mesma capacidade afeta organismos não-alvo, apresentando efeitos tóxicos em bactérias, algas, invertebrados e peixes (W. Zhang *et al.*, 2019).

As ETAR são consideradas veículos intermediários no transporte de nanomaterias para os ecossistemas, sendo os meios aquáticos os mais suscetíveis uma vez que as ETAR não retêm de forma eficiente as nanopartículas presentes nas águas residuais que alcançarão, eventualmente, as massas de água ou os solos através dos efluentes produzidos nas ETAR ou os solos, através da utilização de lamas resultantes do tratamento onde se encontram a maioria das nanopartículas (C. Chen *et al.*, 2017; Mortimer & Holden, 2019; Wu *et al.*, 2018)

Por outro lado, devido às propriedades dos nanomateriais, especialmente compostos por carbono, a sua aplicabilidade no tratamento de águas residuais tem sido alvo de vários estudos os quais se têm mostrado promissores. Assim, a utilização de nanomateriais surge como uma possível alternativa no que respeita à remoção de metais pesados e de matéria orgânica (Marinella Farré & Gajda-schranz, 2009).

Na tabela 3.6 são apresentados alguns exemplos de poluentes químicos inorgânicos referidos previamente.

Tabela 3.6 - Potenciais poluentes inorgânicos presentes na água (adaptado de Asano et al, 2007; Monte, 2010; National Research Council, 2012)

Poluentes Químicos Inorgânicos	Exemplos
Metais e metaloides	Mercúrio, Chumbo; Arsénio; Boro
Sais	Cálcio, Sódio
Sais Oxidantes	Bromato, Clorato, Perclorato
Nutrientes	Azoto, Fósforo
Nano materiais	Nanotubos, nanofios

3.4 Instrumentos de Gestão

O sul da Europa é uma das regiões onde é expectável que a escassez de água se acentue no futuro, evidenciando assim a necessidade de encontrar soluções alternativas. Uma possível solução face a este problema é a diminuição do consumo água potável, através do aumento do preço da mesma. No entanto, apesar de alguns países optarem por esta solução, com algum sucesso, nomeadamente a Dinamarca, a Estónia e Israel, subsistem alguns problemas, nomeadamente: a falta de vontade política para aumentar o preço da água e a resistência das populações a pagarem mais.

Existem tecnologias que podem ser utilizadas para contribuir para um uso mais sustentável da água. Estas tecnologias de poupança de água, como os sistemas eficientes de rega e a coleta de água de chuva, tendem a diminuir significativamente o consumo de água potável. A utilização de água residual tratada para fins não potáveis, associada a estratégias que visam a poupança de água, é considerada atualmente como uma das medidas mais importantes, para a problemática da escassez de água (Lavrnić et al., 2017).

3.4.1 Planeamento Nacional de Água

O planeamento das águas a nível nacional é realizado com vista a assegurar uma contínua proteção e gestão dos recursos hídricos, assim como a compatibilização entre a sua utilização e disponibilidade. Esta articulação de objetivos é alcançada através de três documentos centrais: o Plano Nacional da Água (PNA), o Plano de Gestão de Região Hídrica (PRGH) e, por fim, os Planos Específicos de Gestão de Águas (APA, 2019a).

Dado o objetivo da presente dissertação e dos instrumentos apresentados, os Planos Específicos de Gestão de Águas ganham especial importância, pois realçam o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água 2012-2020 (PNUEA 2012-2020) e o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2020 (PENSAAR 2020).

Realça-se ainda o Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR), criado para a operacionalização da Estratégia Portugal 2020 (PO SEUR, 2019).

PNUEA 2012-2020

O Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) é um instrumento criado no interesse de uma política ambiental nacional, que visa o uso sensato e eficiente da água, minimizando os riscos de escassez hídrica, assim como a melhoria das condições ambientais nos meios hídricos, sem comprometer as necessidades e a qualidade de vida da população nem o seu desenvolvimento económico. O PNUEA promove a eficiência, sobretudo, nos setores urbano, agrícola e industrial, onde as ineficiências e custos associados às mesmas são acrescidas (MAMAOT, 2012)

Para a promoção do uso eficiente da água, o PNUEA propõe um conjunto de medidas transversal aos vários fatores que influenciam a eficiência da utilização dos recursos hídricos, que vão desde a adequação tecnológica de modo a reduzir perdas nos sistemas de condução, à adequação dos comportamentos sociais, permitindo assim reduzir o consumo doméstico ou utilizar água residual tratada para usos específicos (MAMAOT, 2012).

No seguimento dos objetivos da presente dissertação, é possível verificar que as medidas propostas pelo PNUEA mencionam a reutilização de água residual tratada, tanto no sector urbano como no industrial, contrariamente ao agrícola. No entanto, o sector agrícola apresenta a nível nacional um consumo nacional de 80% dos recursos hídricos, evidenciando, uma enorme discrepância nos consumos de água entre os sectores.

A ausência deve-se ao facto de haver uma necessidade acrescida no tratamento de água para os setores urbanos/indústrias, devido à qualidade exigida da água, encarecendo assim o preço. A reutilização de águas residuais, para operações como a refrigeração industrial, permite assim atenuar os custos associados ao consumo de água e energia requerida. Já no sector agrícola seria apenas uma medida que visa substituir água potável por água não potável não sendo tão notório o benefício monetário (MAMAOT, 2012).

PENSAAR 2020

O Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2020 (PENSAAR2020), foi criado de modo a potenciar uma estratégia assente na sustentabilidade em toda a vertente- técnica, ambiental, económica, financeira e social a médio e longo prazo (APA,2019b).

De acordo com a avaliação da situação atual a nível nacional, surge um novo paradigma, que influencia e direciona as próximas fases do PENSAAR 2020, para uma estratégia, “menos centrada na realização de infraestruturas de para aumento da cobertura e focalizando-se mais na gestão dos ativos, seu funcionamento e na qualidade dos serviços prestados com uma sustentabilidade abrangente” (PENSAAR 2020, 2015:5).

Com base nos resultados do PENSAAR I (2000-2006) e do PENSAAR II (2007-2013) foram designados 5 objetivos estratégicos (eixos) nos quais estão integrados 19 objetivos operacionais. No âmbito da presente dissertação é de realçar o eixo 1 - Proteção do ambiente, melhoria da qualidade das massas de água, salientando o objetivo operacional 1.2 que visa a redução de poluição urbana nas massas de água. Já no eixo 3 - Otimização e gestão eficiente dos recursos - salienta-se o objetivo operacional 3.5 que defende a valorização dos recursos e subprodutos e o objetivo operacional 3.6 que promove a alocação e o uso eficiente dos recursos hídricos (PENSAAR 2020, 2015).

A utilização de águas tratadas para diversos fins é encarada como um eixo central na gestão sustentável dos recursos hídricos, embora esta prática não seja preconizada de forma geral a nível nacional. Deste modo, a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) encontra-se a rever as recomendações para a utilização de águas residuais tratadas, para que haja um apoio e um incentivo à utilização das mesmas sempre que seja técnica/-economicamente viável, e que sejam apresentadas soluções aquando dos desafios resultantes (ERSAR.,2019).

PO SEUR

O Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Usos de Recursos resulta da criação de várias programas com o intuito de operacionalizar a Estratégia Portugal 2020, onde são definidos os princípios de programação de políticas de desenvolvimento económico, social e territorial. A programação dos princípios é alcançada através do recurso a vários Fundos Europeus Estruturais e de Investimento em eixos estratégicos (PO SEUR, 2019).

A perspetiva de sustentabilidade promovida pelo PO SEUR assenta em três eixos de investimento, nomeadamente: (eixo I) apoiar a transição para uma economia com baixas emissões de carbono em todos os setores; (eixo II) promover adaptação às alterações climáticas e a prevenção e gestão de riscos e (eixo III) proteger o ambiente e promover a eficiência na utilização dos recursos. O último eixo, na ótica da presente dissertação, apresenta-se como o de maior relevância dado os objetivos de investimento em projetos de reutilização de águas residuais e a otimização de infraestruturas já existentes (Azevedo,2015)

3.4.2 Instrumentos Legais

O planeamento para a utilização correta e a promoção da qualidade das águas, aquando da sua reutilização, é assegurado através de instrumentos legais que se resumem na Tabela 3.7

Tabela 3.7 - Legislação portuguesa com referente à reutilização de águas residuais tratadas (adaptado de Monte e Albuquerque, 2010)

Legislação Portuguesa	Aplicação da reutilização	Conteúdo
Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto	Rega Agrícola e paisagística/ Usos recreativos e ambientais	Normas, critérios e objetivos de qualidade destinadas a proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.
Decreto-Lei n.º 68/99, de 11 de Março	Rega Agrícola e paisagística/Recarga de aquíferos	Poluição das águas por nitratos de origem agrícola.
Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de Setembro	Rega Agrícola e paisagística	Perímetros de proteção para captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público.
Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de Outubro	Rega Agrícola e paisagística/ Recarga de aquíferos	Regime de proteção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração.
Decreto-Lei n.º 56/99, de 26 de Fevereiro	Usos Industriais	Valores limite e objetivos de qualidade para a descarga na água e no solo de certas substâncias perigosas.
Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março	Usos Industriais/ Recarga de aquíferos	Complementa a transposição da DQA.
Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de Agosto	Usos Industriais	Regime jurídico relativo à prevenção e controlo integrados da poluição (licenciamento ambiental).
Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro	Recarga de aquíferos/ Usos recreativos e ambientais	Lei da Água
Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio	Recarga de aquíferos	Regime da utilização dos recursos hídricos
Decreto-Lei n.º 198/2008, de 8 de Outubro	Usos recreativos e ambientais	Tratamento de Águas residuais
Decreto-Lei n.º 197/2005, de 8 de Novembro	Usos recreativos e ambientais	Avaliação de Impacto Ambiental
Decreto-Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto	Usos urbanos	Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais

Importa referir que no decorrer do ano de 2019 entrou em vigor o Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto que estabelece o regime jurídico de produção de água para a reutilização de águas residuais tratadas, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização, permitindo assim a reutilização sempre que compatível com os objetivos de qualidade em usos de rega, paisagísticos, usos urbanos e industriais.

Além dos instrumentos legais referidos anteriormente existem ainda a Recomendação n.º 2/2007 do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e a Norma Portuguesa 4434:2005. A Recomendação n.º 2/2007 foi publicada pelo instituto Regulador de Águas e Resíduos que é responsável pelas “as atribuições de regulamentação, orientação e fiscalização da conceção, execução, gestão e exploração dos sistemas multimunicipais e municipais de águas e resíduos, bem como da atividade das respetivas entidades gestoras, assim como a regulação dos respetivos sectores e o equilíbrio entre a sustentabilidade económica dos sistemas e a qualidade dos serviços prestados, de modo a salvaguardar os interesses e direitos dos cidadãos no fornecimento de bens e serviços essenciais” (Recomendação n.º 2/2007:2).

De acordo com a Recomendação n.º 2/2007 os aspetos mais relevantes incluem:

- As entidades gestoras dos sistemas municipais e multimunicipais deverão equacionar a produção e distribuição de águas residuais tratadas, sempre que essa opção seja técnica, económica e ambientalmente viável;
- Os parâmetros de qualidade exigidos para as descargas no meio recetor poderão não ser suficientes para assegurar a qualidade necessária para a utilização de águas residuais. Sendo assim, é necessária uma afinação do tratamento para se cumprir com os parâmetros de qualidade adequados;
- Na ausência de regulamentação específica, os parâmetros de qualidade deverão ser definidos caso a caso;
- No caso de implementação de um projeto de reutilização, a entidade gestora deverá assegurar o tratamento de afinação, no entanto, as restantes atividades de distribuição poderão ser realizadas pela mesma ou por uma terceira entidade;
- A distribuição deverá ser realizada através de redes específicas, sendo objeto de medidas cuidadas de identificação e limitação de acessibilidade para salvaguardar as redes de abastecimento de água para consumo humano;
- Os tempos de retenção deverão ser tidos em conta evitando a deterioração da qualidade da água residual tratada;
- Os pontos de entrega aos utilizadores finais devem ser claramente acordados e neles colocados instrumentos de medição;
- O uso de águas residuais tratadas exige a sua monitorização, assim como do meio recetor onde serão utilizadas, quando aplicável;
- Cabe à entidade que fornece as águas residuais tratadas a responsabilidade pelo cumprimento dos requisitos de qualidade e pelo seu controlo no ponto de entrega, devendo ainda remeter ao Delegado Concelhio de Saúde os respetivos resultados;

- A Administração de cada Região Hidrográfica deverá definir as condições para a monitorização da qualidade dos meios recetores de águas residuais tratadas que tenham sido licenciadas;
- Sempre que haja uma deteção de situações de potencial incumprimento dos parâmetros de qualidade das águas residuais tratadas, os utilizadores devem contactar a entidade gestora e o Delegado de Saúde do Concelho;
- Os planos de monitorização da qualidade das águas residuais tratadas e os meios recetores adjacentes, devem satisfazer os requisitos de qualidade definidos pelas entidades licenciadoras e seguidas as orientações expressas pela Norma Portuguesa 4434:2005 (NP 4434:2005);
- Os potenciais utilizadores de águas residuais tratadas não são obrigados a utilizar estas águas, pelo que cabe à entidade gestora assegurar uma procura suficiente de forma a recuperar os investimentos a ser realizados;
- Devido à importância de um adequado dimensionamento e exploração do sistema, a entidade gestora e o utilizador devem definir contratualmente os volumes máximos diários que a entidade é obrigada a assegurar, assim como os termos em que os quais possam ser revistos;
- As entidades gestoras devem distinguir o tarifário aplicado aos utilizadores que entreguem efluentes, o qual deverá suportar os custos associados à recolha e o tratamento necessário para a descarga no meio recetor;
- Os utilizadores que adquiram água residual tratada deverão suportar os custos adicionais relativamente à produção e distribuição da mesma;
- Os custos adicionais que a entidade gestora tenha de suportar, afinação do tratamento e monitorização, deverão ser repercutidos no tarifário de venda de água residual tratada;
- Os custos de investimentos específicos para cada utilizador devem ser repercutidos, individualmente, dado o facto destes custos poderem assumir valor apreciáveis, significativamente entre utilizadores;
- A recuperação do custo de investimento deve ser repartida pelo conjunto de utilizadores de forma gradual ao longo da vida útil das infraestruturas.

No que diz respeito à NP 4434:2005 é importante realçar que a mesma estabelece as metas de qualidade das águas residuais tratadas, assim como os critérios que devem ser implementados na escolha dos processos e dos equipamentos de rega e ainda os procedimentos a adotar na execução da rega, proteção e monitorização ambiental da zona potencialmente afetada pela rega (IPQ, 2005).

A NP 4434:2005 aplica-se, exclusivamente, à reutilização de águas residuais urbanas que sejam recolhidas em sistemas de drenagem coletivos e sujeitas tratamento em ETAR, em rega de espaços verdes, relvados, florestas, culturas agrícolas e ornamentais.

A NP 4434:2005 determina certos requisitos de aplicação que envolvem alguns aspetos que serão, de seguida, analisados com mais pormenor, a saber: 1-a qualidade de água residual tratada para rega, 2-os métodos, os processos e os tipos de rega; 3-as características da área a regar; 3.a-as características da topografia; 3.b-vulnerabilidade hidrológica; 4- as culturas suscetíveis de utilização; 5-Minimização dos Impactes ambientais e dos riscos para a saúde pública e 6-Controlo e Monitorização.

1-Qualidade das águas residuais tratadas para rega

A qualidade de água das águas residuais tratadas, para a rega, deve satisfazer as exigências impostas pela legislação em vigor, na altura em que a NP 4434:2005 foi redigida, tendo em conta a alteração dos valores de qualidade modificados pelo Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto no que toca às características físicas, químicas e microbiológicas.

Estas medidas encontram-se resumidas nas Tabelas 3.8; 3.9; 3.10; 3.11; 3.12 e 3.13

Tabela 3.8 - Normas de qualidade de água para a reutilização para rega (adaptado do DL n.º.119/2019)

Classe de qualidade	CBO ₅ (mg/L O ₂)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	E. coli (ufc/100 mL)	Ovos de parasitas intestinais (Nº/L) ⁽¹⁾	Azoto amoniacal (mgNH ₄ ⁺ /L) ⁽²⁾	Azoto total (mg N/L) ⁽²⁾	Fósforo total (mg P/L) ⁽²⁾
A	≤10	≤10	≤5	≤10		10	15	5
B	≤25	≤35		≤100				
C	≤125	≤35		≤1000	≤1			
D	≤25	≤35		≤10000	≤1			
E ⁽³⁾	≤40	≤60		≤10000				

⁽¹⁾ Aplicável na rega de culturas agrícolas destinadas ao consumo animal. ⁽²⁾ Parâmetro facultativo. Poderá ser aplicável em alguns projetos de rega para minimização dos riscos de formação de biofilme e obstrução dos sistemas de rega. ⁽³⁾ Só aplicável a sistemas descentralizados ou descentralizados em simbiose.

Tabela 3.9 - Normas de qualidade de água para a reutilização para a rega, proteção das culturas agrícolas, florestais e solo (adaptado do DL n.º.119/2019)

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
Molibdénio	0,01	mg Mo/L
Selénio	0,02	mg Se/L
Vanádio	0,1	mg V/L
SAR	Variável em função da sensibilidade das culturas.	
Salinidade		
Boro		

Tabela 3.10 - Descrição da classe de rega – Usos e níveis de tratamento adequado em função das várias classes de qualidade de água (adaptado do DL nº.119/2019)

Classe	Possíveis usos	Nível de tratamento
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).
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).
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).
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).
E	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes; rega de áreas de uso naturalmente restrito (e.g., sebes, áreas de contenção (prados em socacos)).	Mais avançado que secundário (desinfeção).

Tabela 3.11 - Normas de qualidade de água para usos urbanos e paisagísticos- fora do contexto urbano (adaptado do DL nº.119/2019)

Parâmetro	Suporte de ecossistemas	Usos recreativos, de enquadramento paisagístico	Lavagem de ruas ⁽⁵⁾	Água de combate a incêndios ⁽¹⁾	Águas de arrefecimento	Autoclismos ⁽¹⁾	Lavagem de veículos ^{(4), (5)}
pH	A determinar 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 ⁽²⁾	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
CBO (mg/L O) (5)(2)		≤25	≤25	≤25	≤25	≤25	
Turvação (NTU)		≤5		≤5		≤5	≤5
Azoto amoniacal (mgNH ₄ /l)		≤5			≤5 ≤1 (na presença de cobre)	≤10	
P total (mg/L)		≤2 ⁽³⁾					
<i>E. coli</i> (ufc/100 mL)		≤10		≤10	≤200	≤10	≤10

⁽¹⁾ As vias de exposição por ingestão (não intencionada) deverão ser consideradas de máxima importância nestes usos, pelo que a qualidade deverá ser similar à da classe A para rega. ⁽²⁾ Pode ocorrer crescimento microbiano a valores superiores ou inferiores a esta gama de pH. ⁽³⁾ Quando utilizado em locais sujeitos à ocorrência de eutrofização (e.g., lagos urbanos, fontes). ⁽⁴⁾ Em função das especificidades de aplicação das ApR poderão ser controlados alguns metais e compostos iónicos, tais como ferro, manganês, cloretos, sulfatos, alcalinidade e sílica, para minimização da ocorrência de calcificação ou corrosão dos sistemas de armazenagem e distribuição de água. ⁽⁵⁾ Em sistemas de lavagem manual a alta pressão, as vias de exposição por ingestão (não intencionada) deverão ser consideradas de máxima importância nestes usos, pelo que a qualidade deverá ser similar à da classe A para rega.

Tabela 3.12 - Níveis de tratamento adequados a cada uso urbano (adaptado do DL n.º.119/2019)

	Suporte de ecossistemas	Usos recreativos, de enquadramento paisagístico	Lavagem de ruas	Água de combate a incêndios	Águas de arrefecimento	Autoclismos
Nível de tratamento	Secundário ou mais avançado que secundário.	Mais avançado que secundário.	Mais avançado que secundário.	Mais avançado que secundário.	Mais avançado que secundário.	Mais avançado que secundário.

Tabela 3.13 - Normas de qualidade de água para reutilização em uso industrial (proteção para contacto urbano) (adaptado do DL n.º.119/2019)

Classe de qualidade	Turvação (NTU)	<i>E. coli</i> (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 de contacto dérmico		≤1000

2-Métodos, processos e tipos de rega

A utilização de um determinado tipo de rega depende, qualquer que seja o caso, da qualidade físico-química e microbiológica da água, do tipo de cultura que se pretende regar e de outras condicionantes específicas da zona onde se encontra a instalação de rega como as características do solo, a topografia, a hidrologia e a proximidade de zonas habitadas.

A escolha do tipo de rega deve, preferencialmente, limitar o contacto da água com a parte aérea das plantas não devendo haver contacto com as partes comestíveis, reduzir o risco de escoamento superficial da água e diminuir o transporte, pelo vento, de aerossóis e gotas de água (IPQ, 2005).

No Tabela 3.14 apresentam-se os potenciais sistemas de rega compatíveis com uso de água residual urbana

Tabela 3.14 - Métodos de rega e processos associados aos mesmos, aquando o uso de água residual tratada (adaptado de IPQ, 2005)

Métodos de Rega	Processos e tipos de Rega
Escorrimento	Regadeiras de nível Regadeiras inclinadas Planos inclinadas Faixas
Infiltração	Caldeiras Sulcos Rega subterrânea Rega gota-a-gota (superficial / subterrânea)
Aspersão	Aspersão convencional (equipamento estacionário /semovente) Mini-aspersão (estática ou micro-aspersão/ dinâmica)

3-Características da área a regar

As áreas, onde seja possível a rega com uso de água residual tratada, deverão conter solos cujas características físico-químicas sejam compatíveis com a sua utilização em regadio.

As características físicas incluem a textura, a estrutura, a profundidade, a permeabilidade, a capacidade de retenção de água e a condutividade hidráulica. As características químicas como o pH, a salinidade, o teor de nutrientes, a capacidade de troca catiônica e o teor de matéria orgânica, podem ser controlados com o objetivo de atingir os valores compatíveis de utilização, sendo necessário apenas respeitar os valores máximos admissíveis de metais presentes no solo (IPQ, 2005).

No Tabela 3.15 são apresentados os valores máximos admissíveis para as concentrações de metais pesados nos solos.

Tabela 3.15 - Concentrações máximas de metais pesados nos solos a regar com água residual tratada (adaptado de IPQ, 2005)

Metal	pH do solo		
	<5,5	5,5 a 7,0	>7,0*
Cádmio (Cd)	1	3	4
Chumbo (Pb)	50	300	450
Cobre (Cu)	50	100	200
Crômio (Cr)	50	200	300
Mercúrio (Hg)	1	1,5	2
Níquel (Ni)	30	75	110
Zinco (Zn)	150	300	450

3.a-Topografia

Os terrenos suscetíveis de serem regados com recurso a água residual tratada, não devem apresentar um declive que exceda 20%, minimizando assim a formação de escorrências superficiais, a redução do risco de erosão permitindo deste modo, uma melhor proteção contra a contaminação dos meios hídricos superficiais e de outros terrenos evolventes, no entanto, caso o declive para um determinado processo de rega exija um declive inferior, deverá ser respeitado esse valor (IPQ, 2005).

Na tabela 3.16 são apresentados os declives máximos associados a cada processo de rega.

Tabela 3.16 - Declives máximos associados a cada processo de rega (adaptado de IPQ, 2005)

Métodos de Rega	Processos e tipos de Rega	Declive
Escorrimento	Regadeiras de nível	3%
	Regadeiras inclinadas	8%
	Planos inclinadas	-
	Faixas	7%
Infiltração	Caldeiras	3 a 8%
	Sulcos	
	Rega subterrânea	
	Rega gota-a gota(superficial / subterrânea)	
Aspersão	Aspersão convencional (equipamento estacionário /semovente)	15%
	Mini-aspersão (estática ou micro-aspersão/ dinâmica	-
		-

3.b-Vulnerabilidade hidrológica

Não devem ser criadas instalações de rega com recurso a águas residuais tratadas, em zonas que apresentem um alto risco de infiltração e percolação de águas superficiais, existindo uma profundidade mínima associada a cada processo de rega que deve ser respeitada.

As profundidades do nível freático durante a rega devem ser no mínimo as que se seguem:

- 1,0 m para a rega gota-a-gota superficial
- 1,5 m para a rega gota-a-gota subterrânea e por mini aspersão
- 3,0 m para a rega por aspersão
- 4,0 m para a rega por escorrimento e infiltração (sulcos ou subterrânea)

3.c-Afastamento em relação às zonas habitacionais e origens de água

Os terrenos, em que seja utilizada água residual tratada, devem se encontrar afastados de zonas habitacionais. Esta distância permite minimizar os riscos de ocorrência de doenças que possam ser transmitidas pelas águas residuais e evitar certos constrangimentos como maus cheiros associados tanto à aplicação das águas no solo como ao seu armazenamento. Esta distância entre os limites das zonas regadas ou local de armazenamento de águas residuais tratadas e as zonas habitacionais depende do tipo de tratamento a que as águas são submetidas e do processo de rega, sendo que na rega gota-a-gota não é necessário existir uma distância mínima (IPQ, 2005)

Na tabela 3.17 são apresentadas as distâncias mínimas entre o limite de zona regada e zonas com ocupação humana permanente.

Tabela 3.17 - Distâncias mínimas entre zonas de rega e zonas de ocupação humana (adaptado de IPQ, 2005)

Método de rega	Tipo de zona habitada	Concentração de coliformes fecais nas águas residuais tratadas		
		$\leq 2 \times 10^2$ CF/100mL	$2 \times 10^2 < \text{CF/100mL} \leq 10^3$	$> 10^3$ CF/100mL
Rega por aspersão	Habitações isoladas	30 m	60 m	70 m
	Zonas habitacionais	50 m	80 m	100 m
Outros métodos de rega	Habitações isoladas	10 m	20 m	30 m
	Zonas habitacionais	30 m	60 m	70 m

- **4-Culturas suscetíveis de utilização**

Os diferentes tipos de cultura são agrupados em classes, de acordo com o seu grau de risco de contaminação microbiológica associado à rega com águas residuais tratadas.

É de salientar que as águas residuais tratadas a serem utilizadas, independentemente do tipo de classe a que se destinam, deverão ser desinfetadas idealmente com o recurso a lâmpadas de UV com autolimpeza ou ozonização (IPQ, 2005).

Na tabela 3.18 são apresentadas as classes e os tipos de culturas associados a cada uma

Tabela 3.18 - Classes e Tipos de Cultura (adaptado de IPQ, 2005)

Classe	Tipo de Cultura
A	Culturas hortícolas para consumo em cru
B	Parques e jardins públicos, relvados para prática desportiva, floresta com acesso público
C	Culturas hortícolas para consumir cozinhadas, culturas forrageiras e pratenses, vinha e pomares
D	Culturas cerealíferas (com exceção do arroz), culturas para processamento industrial; culturas destinadas à produção de matérias-primas aplicadas na indústria têxtil, para a extração de óleos e essências vegetais e similares; culturas florestais e relvados situados em locais de difícil ou condicionado acesso público.

Na Tabela 3.19 são evidenciados os parâmetros de qualidade microbiológica exigidos à água a reutilizar e esquemas de tratamento adequados a cada tipo de classe a regar.

Tabela 3.19 - Valores máximos admissíveis para os parâmetros de qualidade microbiológicas da água a reutilizar e esquemas de tratamento adequado, aquando a classe de culturas a regar (IPQ, 2005)

Classe	Tipo de cultura	Coliformes fecais (NMP ou ufc/100MI)	Ovos de parasitas entéricos (ovos/L)	Esquemas de tratamento adequados	Observações ⁽¹⁾
A	Culturas hortícolas para consumo em cru	100	1	Secundário+Filtração+Desinfeção ou Terciário+Filtração+ Desinfeção	
B	Parques e jardins públicos, relvados para prática desportiva, floresta com acesso público	200	1	Secundário+Filtração+Desinfeção ou Terciário+Filtração+ Desinfeção	A rega deverá ser efetuada de forma a evitar contacto com público
C	Culturas hortícolas para consumir cozinhadas, culturas forrageiras e pratenses, vinha e pomares	10 ³	1	Secundário+Filtração+Desinfeção ou Terciário+Filtração+ Desinfeção ou Lagunagem (Sistema com 3 ou mais lagoas e tempo de retenção de ≥25 dias)	A rega de vinhas e pomares deve ser efetuada de modo a evitar o contacto com os frutos
D	Culturas cerealíferas (com exceção do arroz), culturas para processamento industrial; culturas destinadas à produção de matérias-primas aplicadas na indústria têxtil, para a extração de óleos e essências vegetais e similares; culturas florestais e relvados situados em locais de difícil ou condicionado acesso público.	10 ⁴	1	Secundário +Lagoas de maturação (tempo de retenção ≥10 dias) ou Secundário +Filtração+Desinfeção	A rega deve ser efetuada de modo a evitar os contactos com o público

⁽¹⁾ Desinfeção com recurso a UV(lâmpadas com auto limpeza) ou O₃ preferíveis à cloragem

5-Minimização dos Impactes ambientais e dos riscos para a saúde pública

A utilização de águas residuais, para a rega de culturas, deve ser efetuada de forma a reduzir riscos de degradação da qualidade, do meio ambiente envolvente e a propagação de doenças em pessoas ou animais. Para tal, devem ser adotadas medidas que minimizem (1) os riscos de contaminação de águas superficiais ou subterrâneas, com águas residuais tratadas, escoadas superficialmente ou infiltradas no solo; (2) o contacto de pessoas e animais com as plantas e solos regados com água residual tratada; (3) o arrastamento pelo vento, de gotas de águas residuais tratadas e subsequente depósito das mesmas em plantas, solos, ou massas de águas situadas fora da zona a regar e (4) inalação, por pessoas ou animais, de aerossóis produzidos pelo equipamento de rega. Neste sentido a NP 4434:2005 define um guia de sistemas de sinalização a adotar, as indicações de instalação da rede de rega e da realização da rega em si referindo as distâncias máximas admissíveis das zonas habitadas e os valores de vento, limitando a distância percorrida pelos aerossóis e as gotas de água, assim como as medidas de proteção da área envolvente.

6-Controlo e Monitorização

A rega com recurso a águas residuais tratadas, deve ser efetuada sem que a qualidade do solo, das águas superficiais e subterrâneas e da própria atmosfera sejam afetadas negativamente, pelos possíveis poluentes inerentes às águas residuais. Deste modo, deverão ser elementos de controlo, a quantidade de nutrientes e metais pesados aplicados aos solos, pelo que são apresentados também na NP 4434:2005 um conjunto de documentos que auxiliam, o controlo e a monitorização dos diversos parâmetros e aspetos referentes à rega com recurso a águas residuais tratadas, como por exemplo os boletins de análise de qualidade da água, os registos dos volumes da água e das quantidades de nutrientes e metais pesados aplicados e ainda o plano de fertilização.

4 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

O tratamento de água residual, inclui um conjunto de operações unitárias e de processos biológicos que constituem os vários níveis de tratamento conhecidos, denominados de preliminar, primário, secundário, terciário e avançado (Asano *et al.*, 2007). Estes níveis de tratamento estão resumidos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Níveis de tratamento e respectivas descrições (Asano et al, 2007)

Nível de Tratamento	Descrição
Preliminar	Remoção de constituintes das águas residuais como gorduras, flutuantes sólidos de grandes dimensões que possam causar problemas de manutenção ou operação a jusante.
Primário	Remoção de parte dos sólidos suspenso e matéria orgânica das águas residuais
Primário avançado	Remoção mais avançada recorrendo tipicamente a filtração ou adição de químicos
Secundário	Remoção de matéria orgânica biodegradável e sólidos em suspensão. Desinfecção é tipicamente incluída na definição de tratamento secundário convencional.
Secundário com remoção de nutrientes	Remoção de orgânicos biodegradáveis, sólidos em suspensão e nutrientes
Terciário	Remoção de sólidos suspensos residuais (após o tratamento secundário), normalmente através de filtração. Desinfecção é tipicamente parte integrante do tratamento terciário
Avançado	Remoção total de sólidos dissolvidos e características como odor e sabor, de acordo com as necessidades.

4.1 Tratamento Terciário

Para efeitos de cumprimento dos objetivos subjacentes a esta dissertação, apenas se dará relevância ao nível de tratamento terciário, não obstante a importância dos restantes. Assim, e atendendo às exigências de nível de tratamento impostas pelo Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto, para as diferentes classes de rega qualquer tratamento deverá ser mais avançado do que o nível de tratamento secundário.

De seguida apresentam-se algumas componentes do nível de tratamento terciário, nomeadamente a filtração e a desinfecção.

4.1.1 Filtração

A reutilização de água residual tratada exige valores de Sólidos Suspensos Totais (SST) reduzidos, que garantam a necessária qualidade da água e uma desinfecção eficiente, visto que esta é fortemente afetada pela presença dos SST. Existem diferentes tipos de tecnologias de filtração consoante as características dos SST, como o teor e dimensão; presentes na água.

Estas são agrupadas em 3 tipos: (1) filtração granular; (2) filtração superficial e (3) filtração em membranas (Monte & Albuquerque, 2010).

A remoção de SST pode ser efetuada de forma eficiente através da filtração granular (filtros de areia), através da coagulação que inclui por norma a floculação, a deposição e a filtração, assim como através de tecnologias de separação por membranas como a microfiltração (MF), a ultrafiltração (UF), comumente utilizados nos reatores biológicos de membranas (RBM), a nanofiltração (NF) e a OI. De notar, que tecnologias de NF e OI são muito mais exigentes que a MF e a UF, pelo que são tecnologias utilizadas em águas que apresentem baixos valores de turbidez. No entanto, estas tecnologias permitem um efluente de elevada qualidade visto que removem além de SST, STD, agentes patogénicos e metais (Roccaro, 2018).

A filtração em membranas envolve a passagem de água residual, proveniente de tratamento biológico, através de uma membrana fina, com o intuito de remover matéria particulada, agentes patogénicos, matéria orgânica, nutrientes e substâncias dissolvidas não removidas pelos processos de tratamento (Asano *et al.*, 2007)

A filtração em profundidade é uma das operações unitárias mais antigas, no tratamento de água potável, e uma importante condicionante para uma desinfecção efetiva, contudo, é comumente utilizada na filtração de efluentes resultantes dos processos de tratamento de água residual, especialmente na reutilização de água residual tratada. Além de permitir uma remoção complementar de sólidos suspensos, incluindo carência bioquímica de oxigénio (CBO) particulado, a filtração em profundidade pode ser igualmente utilizada como uma etapa de pré-tratamento de tecnologias de membranas (Asano *et al.*, 2007).

A filtração superficial têm várias aplicações como a substituição de filtração em profundidade, para remoção de sólidos em suspensão residuais de efluentes secundários, remoção de sólidos suspensos e algas de efluentes de lagoas de estabilização além da operação de pré-tratamento para MF e desinfecção à base de Ultravioletas (Asano *et al.*, 2007).

As qualidades passíveis de serem obtidas, através da implementação das tecnologias descritas são resumidas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Qualidade expectável do efluente após os processos tecnológicos (adaptado de Asano et al, 2007)

Constituintes	Unidades	Lamas ativadas	Lamas ativadas com filtração	Lamas ativadas com remoção de nutrientes e filtração	RBM
SST	mg/L	5-25	2-8	1-4	≤1
CBO ₅	mg/L	5-25	<5-20	1-5	≤1-5
CQO	mg/L	40-80	30-70	20-30	<10-30
COT	mg/L	10-40	15-30	1-5	0.5-5
Turbidez	NTU	2-15	0.5-4	0.3-2	≤1
SDT	mg/L	500-700	500-700	500-700	500-700
Coliformes Totais	ufc/100mL	10 ⁴ -10 ⁵	10 ³ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁵	<100

4.1.2 Desinfecção

A desinfecção é um processo que permite reduzir, nas águas residuais tratadas, a quantidade de organismos patogénicos para níveis aceitáveis, para uma posterior utilização em condições de segurança (Monte & Albuquerque, 2010). A desinfecção na aplicação de águas residuais tratadas é normalmente alcançada, através da adição de agentes químicos ou através de radiação. A escolha de um desinfetante ideal é efetuada com base em várias características como segurança de manuseamento, toxicidade relativamente aos microrganismos, estabilidade no armazenamento e a presença de um residual (Asano et al., 2007).

Os principais compostos químicos utilizados no processo de desinfecção de águas residuais são os agentes químicos, como o cloro e seus derivados e o ozono. A desinfecção de águas residuais é realizada tendo por base a dosagem correta do desinfetante de acordo com o volume de água residual a desinfetar e um tempo de contacto perpetuando desse modo a reação do agente com os microrganismos passíveis de existir na água (Asano et al., 2007).

Na Tabela 4.3 são enumeradas as características de um desinfetante químico ideal.

Tabela 4.3 - Características de desinfetante químico ideal (Asano et al, 2007)

Características	Propriedades
Alteração das características da solução	Deve ser eficiente com uma alteração mínima nas características da solução, como o aumento de sólidos dissolvidos
Disponibilidade	Deve haver disponibilidade em grandes quantidades e a preços acessíveis
Capacidade de desodorização	À medida que a desinfecção ocorre, deve igualmente ser desodorizada
Homogeneidade	Deve apresentar uma homogeneidade total na sua composição
Interação com materiais externos	Não deve ser absorvido, exceto por células bacterianas
Não corrosivos e anti manchas	Não deve corroer metais, nem manchar roupas
Não tóxico para formas de vida superiores	Deverá ser tóxico apenas para microrganismos, não afetando humanos e outros animais
Penetração	Capacidade de penetrar as superfícies das partículas
Segurança	O seu uso, manuseamento, transporte e armazenamento deve ser seguro
Solubilidade	Solúvel em água ou tecidos celulares
Estabilidade	Deve apresentar um residual ao longo do tempo
Toxicidade para microrganismos	Deve ser eficiente a altas diluições
Toxicidade a temperaturas ambientes	Deve ser eficiente a temperaturas ambiente

A utilização de cloro e os seus derivados como cloro gasoso, hipoclorito de sódio, cloroaminas ou dióxido de cloro formam os sistemas de desinfecção mais utilizados em todo o mundo, devido à sua eficácia na remoção de bactérias. Porém, está provado que a utilização destes agentes podem apresentar efeitos secundários como a formação de subprodutos nomeadamente trihalometanos e outros organoclorados (Gómez-López *et al.*, 2009).

De acordo com Asano et al., (2007), muitas das grandes cidades transitaram da utilização de cloro gasoso para a utilização de hipoclorito de sódio; devido a preocupações relativamente à segurança e as regulações de requisitos relacionados com o manuseamento e armazenamento de cloro líquido. O hipoclorito de sódio pode ser adquirido ou produzido *in situ*, no entanto a sua produção é complexa e de elevado custo associado ao consumo energético, pelo que é normalmente adquirido.

O ácido peracético é uma alternativa à utilização de desinfecção por intermédio de cloro. Apesar do recurso ao cloro constituir uma opção de baixo custo e com uma inativação de uma variedade de agentes patogénicos, a formação de subprodutos levanta graves preocupações. O ácido peracético consiste numa mistura de peróxido de hidrogénio, ácido acético e água e apresenta elevadas propriedades oxidativas e eficácia contra bactérias em águas residuais com níveis de SST até os 100 mg/L de SST (McFadden *et al.*, 2017), embora seja de reduzida eficácia relativamente aos vírus e protozoários. Uma das maiores vantagens do uso de ácido peracético é a fácil modificação de sistemas que usem hipoclorito de sódio comumente presente nas ETAR, eliminando desse modo encargos associados a intervenções estruturais (Bonetta *et al.*, 2017).

Algumas das vantagens que o ácido peracético apresenta relativamente ao cloro são a sua rápida reação e decomposição reduzindo potencialmente os tempos de contacto e quantidades necessárias e a formação de subprodutos, de acordo com alguns estudos, é nula ou pouco significativa. Uma das incertezas associadas ao uso de ácido peracético deve-se ao facto de as dosagens corretas e tempos de contacto variarem muito, dependendo da qualidade do efluente a tratar, e do tamanho das partículas nelas presente (McFadden *et al.*, 2017).

O ácido peracético apresenta uma toxicidade menor que o ozono ou o cloro livre, relativamente a organismos aquáticos, razão pela qual é considerado uma alternativa ecologicamente amigável. Já relativamente às desvantagens do ácido peracético pode-se apontar o potencial reaparecimento bacteriano, após o tratamento com o mesmo, uma vez que este liberta ácido acético durante a decomposição e a hidrólise na água. A presença de ácido acético após a desinfecção pode promover o reaparecimento bacteriano ao aumentar a concentração de matéria orgânica, presente nas águas residuais. A monitorização antes de uma utilização alargada torna-se necessária e justificada pela ausência de estudos científicos que conduzam a uma maior compreensão do comportamento bacteriano após a desinfecção (C. Zhang *et al.*, 2019).

O Ozono demonstrou, ao longo da última década, ser uma tecnologia de desinfecção de elevada eficácia na remoção de várias classes de contaminantes da água, na inativação de vírus, bactérias e protozoários patogénicos mais resistentes (e.g. *Giardia*) em condições que, por norma, a eficácia não é alcançada pela desinfecção que recorre ao cloro ou dióxido de cloro. Embora esta tecnologia tenha provado ser dispendiosa e ineficiente, no passado, os avanços alcançados na última década, demonstram que é uma opção economicamente viável em tratamentos avançados, além de que apresenta elevada eficácia como agente de desinfecção e na remoção de contaminantes emergentes (Nasuhoglu *et al.*, 2018). Contudo, a utilização de dosagens incorretas poderá promover a formação de subprodutos e o aumento de matéria orgânica (Mao *et al.*, 2014).

A radiação UV é uma tecnologia de desinfecção utilizada no tratamento terciário, comumente presente em projetos de reutilização de águas residuais, devido à sua robustez e a uma tecnologia economicamente viável. Permite, também, uma resposta a dois grandes dilemas na utilização de cloro, nomeadamente a baixa remoção de protozoários, assim como a formação de subprodutos. Uma das maiores desvantagens na utilização desta tecnologia é o impacto que as partículas suspensas têm na eficiência de desinfecção (Carré *et al.*, 2018). A radiação UV danifica o DNA celular inativando a reprodução de microrganismos. A presença de flocos nos efluentes secundários protege as bactérias embebidas nos próprios flocos da radiação resultando numa desinfecção ineficiente. Além do tamanho dos flóculos, a sua compactação, influenciada pelos parâmetros operacionais como a temperatura, a composição química, a presença de polifosfatos, resultante da remoção de fósforo através de processos biológicos, pode afetar significativamente o processo de desinfecção à base de UV. Por conseguinte, as alterações em processos de tratamento de águas residuais que potencialmente alterem as

características físico-químicas dos flocos poderão alterar o desempenho da desinfecção (Tan *et al.*, 2017).

No Anexo A são apresentadas algumas das tecnologias utilizadas nos processos de tratamento terciário.

5 CASO DE ESTUDO

O presente capítulo refere-se ao caso de estudo em que se avalia a valorização da água residual tratada na ETAR da Base Aérea nº5, em Monte Real, Distrito de Leiria. Neste sentido pretende-se evidenciar o potencial uso desta água, após tratamento.

5.1 Objetivo

O estudo do potencial de valorização de reutilização de água residual tratada, na Base Aérea nº 5, em Monte Real, Distrito de Leiria, tem como objetivo analisar uma fonte alternativa à utilização de água de abastecimento, para usos não potáveis, eventualmente através da implementação de etapas de tratamento adicionais na ETAR. Assim, são apresentados e avaliados diversos cenários com o objetivo de dar resposta às necessidades de água, impostas pela Base Aérea nº5, com a exigência e qualidade requeridas pelas entidades competentes.

5.2 Metodologia

A metodologia proposta para o desenvolvimento inclui os seguintes aspetos:

1. Caracterização da Base Aérea N.º 5;
2. Caracterização dos consumos de água de abastecimento;
3. Caracterização da ETAR e da qualidade do efluente tratado;
4. Identificação dos volumes a reutilizar;
5. Confronto entre as características do tratado e os requisitos legais exigidos para a reutilização de águas residuais tratadas;
6. Avaliação de tratamentos complementares por forma a potencializar a valorização do efluente,
7. Estimativa de custos.

5.3 Caracterização do Local de Estudo - Base Aérea N.º5, Monte Real, Distrito de Leiria

Este subcapítulo refere-se à caracterização da Base Aérea N.º 5, o que permitirá estabelecer uma relação entre os objetivos definidos pelo presente caso de estudo e os resultados obtidos.

A Base Aérea N.º 5, inaugurada a 4 de outubro de 1959, situa-se na Serra Porto de Urso, localidade da Freguesia de Monte Real, concelho de Leiria que pertence à Região de Lisboa e Vale do Tejo (NUT III), representados na Figura 5.1 e 5.2.

Base Aérea N.º 5 por razões de exercícios ou outras (Figura 5.3), e o número total de horas ligado à área de manutenção (Figura 5.4), de forma a obter uma representação mais realística e adequada dos diversos indicadores ambientais. De igual forma, os dados apresentados no presente capítulo referem-se apenas aos dados compreendidos entre 2016 e 2019. Além da elevada variabilidade populacional, a Base Aérea N.º 5 apresentou uma considerável variação relativamente aos consumos de água entre o ano de 2017 e 2018, fruto de um extenso trabalho realizado no controlo de fugas na rede de abastecimento. Assim foi possível reduzir o consumo de água na ordem dos 45% em 2018 face ao ano anterior. Por esta razão, a determinação da potencialidade de reutilização de água residual tratada na Unidade é feita unicamente com base nos dados referentes aos períodos de 2018 e 2019, obtidos através da “RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL 2019” (2020), sendo os dados dos anos anteriores apresentados como ponto de referência.

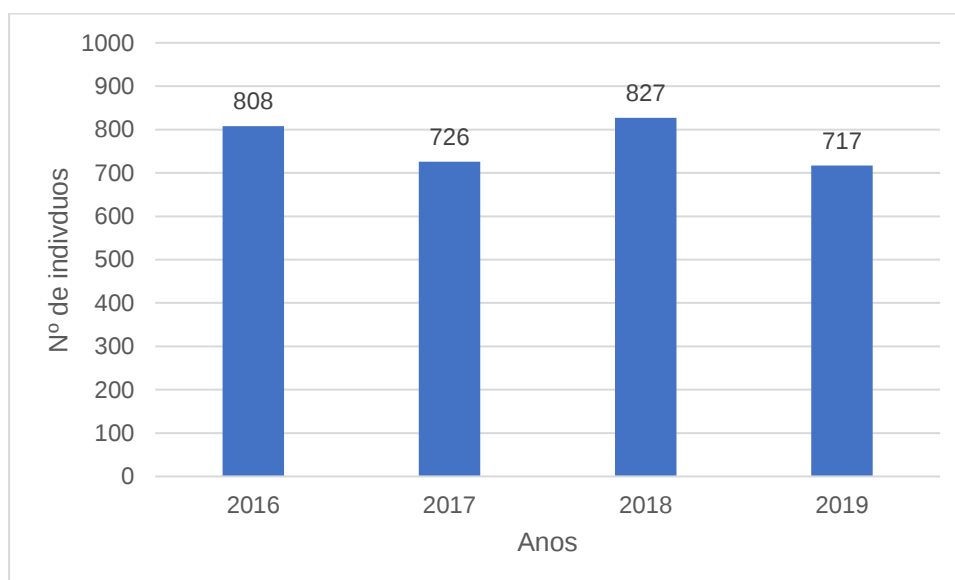


Figura 5.3 - Número médio anual de efetivos na Base Aérea N.º 5

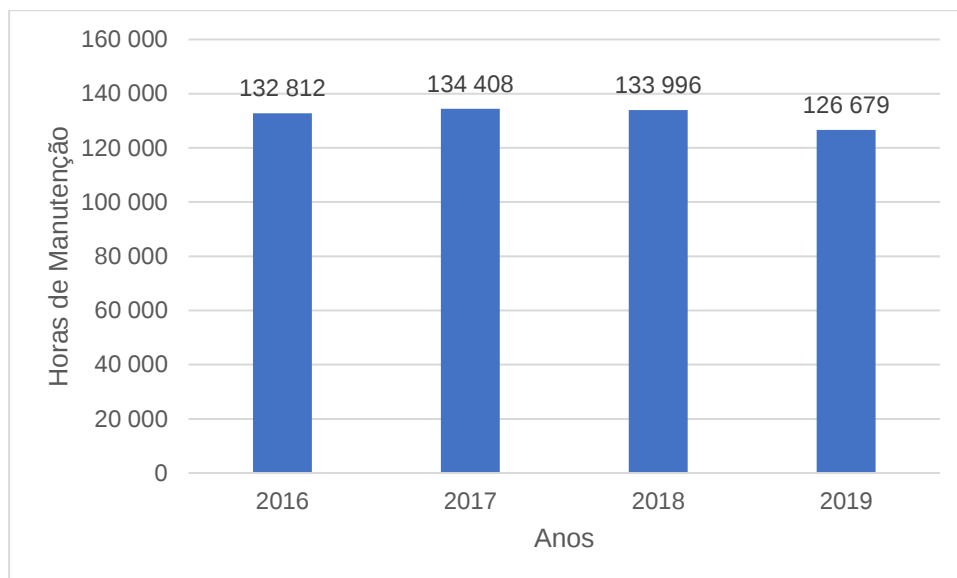


Figura 5.4 - Total de horas referentes a operações de manutenção da base

5.4 Usos

A Base Aérea N.º 5 é abastecida por água para consumo proveniente de três furos que se encontram dentro da própria Unidade, não havendo abastecimento externo, o que faz recair sobre a mesma a responsabilidade de uma correta gestão da rede de abastecimento com uma garantia de qualidade aceitável. Nas Figuras 5.5 a 5.7, são apresentados os consumos anuais, mensais e o consumo anual por hora de manutenção, respetivamente.

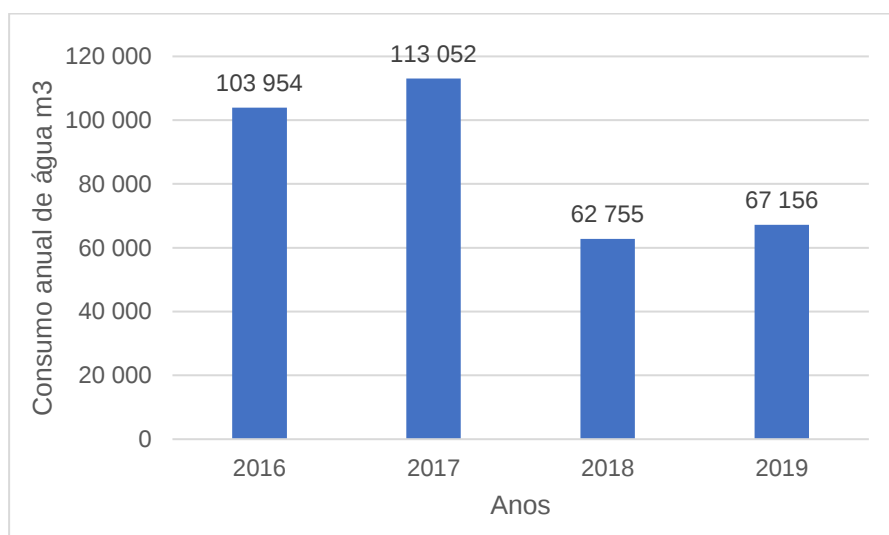


Figura 5.5 - Consumo Anual de Água Proveniente dos Furos

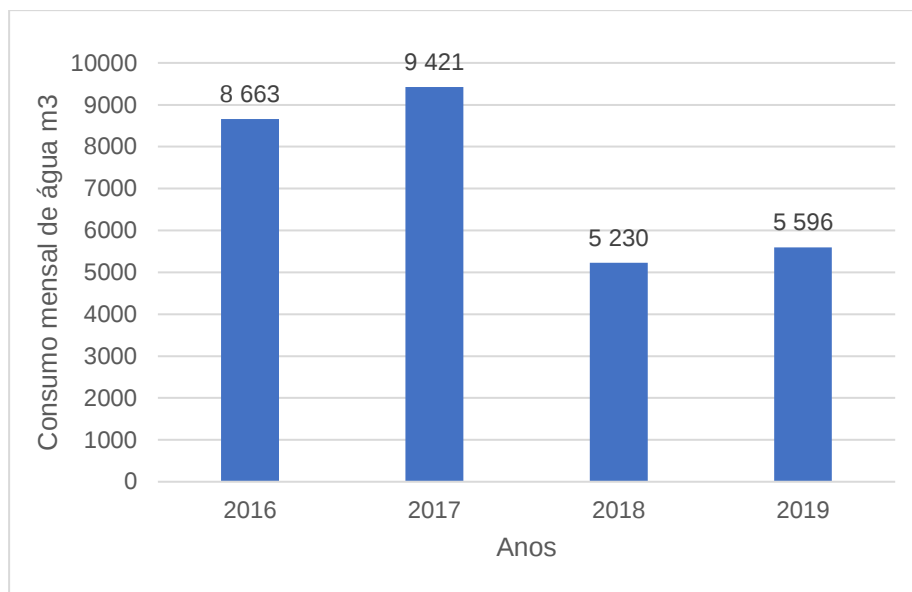


Figura 5.6 - Consumo Médio Mensal Anual

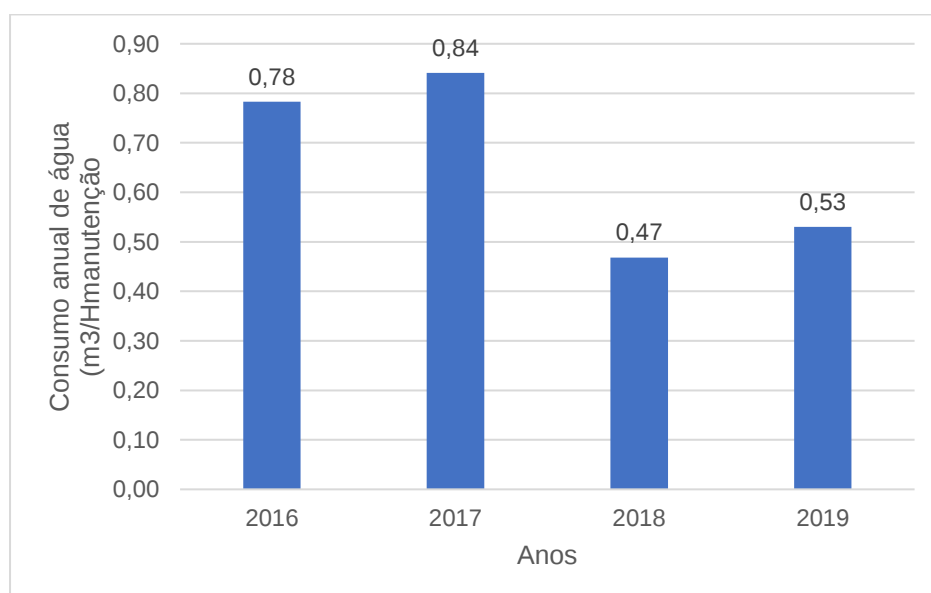


Figura 5.7 - Consumo Anual de água por hora de manutenção

Dada a variabilidade populacional, bem como a variabilidade das atividades realizadas na Base Aérea N.º 5, aliado ao facto da inexistência de medidores de caudais na própria Unidade, à exceção da saída de cada furo de captação, torna-se difícil identificar os consumos reais discriminados por áreas de uso. Deste modo, foram estimados os consumos médios diários através dos dados de consumos anuais totais fornecidos apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Consumos médios de água na Base Aérea N. 05

Ano	Consumo de água	Unidades	Consumo de água	Unidades	Consumo de água	Unidades
2016	103 954	m³/ano	8 663	m³/mês	285	m³/dia
2017	113 052	m³/ano	9 421	m³/mês	310	m³/dia
2018	62 755	m³/ano	5 230	m³/mês	172	m³/dia
2019	67 156	m³/ano	5 596	m³/mês	184	m³/dia

Com base nos consumos médios diários obtidos e na população presente na Base Aérea N.º 5, foi possível determinar a capitação total na Unidade. Estes dados são apresentados na Tabela 5.2 e foram calculados através da equação (1).

$$Q_{md} = \frac{p_r \times c_r}{1000} \quad (1)$$

Q_{md} é o caudal médio diário (m³/dia); p_r é a população permanente (hab.); c_r é a capitação atribuível à população permanente (L.hab.dia).

Tabela 5.2 - Capitações totais de água na Base Aérea N. 05

Ano	Capitação total	Unidades
2016	352	L/(hab.dia)
2017	427	L/(hab.dia)
2018	208	L/(hab.dia)
2019	257	L/(hab.dia)

A estimativa do volume de água passível de reutilização teve por base a identificação e a análise de consumos de água anuais para usos não potáveis, os únicos abrangidos pela presente dissertação. Face à inexistência de consumos discriminados foi necessário determinar os consumos não potáveis tendo por base estimativas. De acordo com Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR) a capitação mínima utilizada para a estimativa de caudais domésticos não deverá ser inferior a 80 L/(hab.dia). Embora os valores de capitação não se encontrem padronizados no RGSPDADAR, sendo necessário avaliar, de acordo com as características de cada estabelecimento, de acordo com Ferreira (2009), Unidades Militares como os quartéis, apresentam capitações de 150 L/(hab.dia). De acordo com Cantante, (2016) a capitação dos alunos alojados na Academia Militar na Amadora toma o valor de 100 L/(hab.dia) e segundo Pinto Da Costa et al., (2016) a capitação dos alunos alojados no Aquartelamento da Academia Militar na Amadora toma o valor de 234 L/(hab.dia), este valor é muito superior aos demais apresentados, devido à lavagem de cavalos utilizados na prática de equitação. Deste modo,

através da utilização de uma capitação teórica de 130 L/(hab.dia) para usos potáveis e a sua subtração à capitação obtida considerando os consumos totais, tornou-se possível obter uma estimativa das capitações para usos não potáveis, dados apresentados na Tabela 5.3, assim como para os consumos diários (Tabela 5.4).

Tabela 5.3 - Captações estimadas de água para usos não potáveis

Ano	Capitação de usos não potáveis	Unidades
2016	222	L/(hab.dia)
2017	297	L/(hab.dia)
2018	78	L/(hab.dia)
2019	127	L/(hab.dia)

Tabela 5.4 - Consumos estimados de água para usos não potáveis

Ano	Consumo de usos não potáveis	Unidades
2016	180	m³/dia
2017	215	m³/dia
2018	64	m³/dia
2019	91	m³/dia

5.5 Caracterização da ETAR da Base Aérea N.º 5

A Unidade é responsável pela exploração e gestão do sistema de saneamento de águas residuais da própria base.

De acordo com a “LICENÇA DE UTILIZAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS-REJEIÇÃO” (2016), a ETAR situa-se na Região Hidrográfica do Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste e na Bacia Hidrográfica do Lis, cujo estado da água está classificado como razoável. Projetada para servir no ano zero uma população de 3000 equivalentes populacionais e no ano horizonte de projeto 3000 equivalentes populacionais, encontra-se desse modo sobredimensionada.

De notar que a ETAR se encontra obrigada a respeitar as condições de descarga das águas residuais de acordo com o Decreto-Lei nº236/98, de 1 de agosto e o Decreto-Lei n.º152/97, de 19 de junho.

A ETAR da Base Aérea N.º 5, tem implementado um nível de tratamento secundário, que é composto por uma fase líquida e uma fase sólida. A fase líquida é constituída por uma obra de entrada com tamisor e gradagem, tanque de arejamento e decantador secundário. Relativamente à fase sólida, esta é constituída por um espessador gravítico e desidratação com recursos a um filtro de bandas (Figura 5.8).

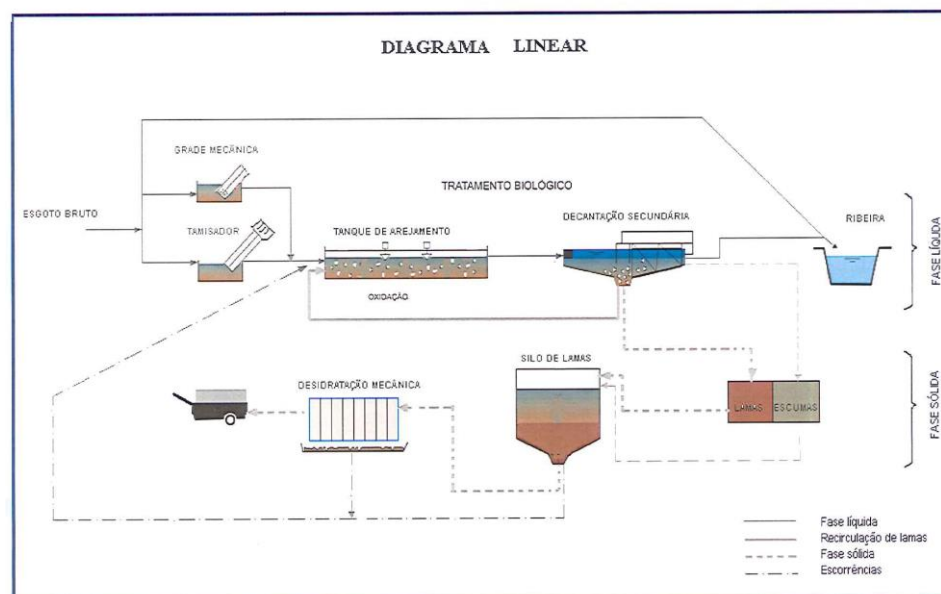


Figura 5.8 - Diagrama Linear da ETAR da Base Área N.º 5

5.5.1 Água Residual Tratada

A água residual produzida na Base Aérea N.º 5 é encaminhada para a ETAR da própria Unidade. O efluente bruto apresenta características típicas de efluentes de usos domésticos, incluindo uma componente pluvial que aflui nos meses de maior precipitação, dada a natureza da rede de saneamento, para além de ser composto por água resultante das áreas operacionais da Base Aérea N.º 5.

Uma vez que os constituintes da água residual afluyente à ETAR são influenciados pela variabilidade dos valores de precipitação local, pelo número de indivíduos que se encontram presentes na base ao longo do ano, assim como pelo número de horas de trabalho requerida nas várias componentes que integram a Base Aérea N.º 5, ao qual acresce a inexistência de um medidor de caudal à entrada da ETAR, não é razoável procurar avaliar o crescimento populacional, o que inviabiliza uma estimativa fidedigna do caudal médio diário que irá afluir à ETAR nos anos vindouros. Entre os dados fornecidos pela Base Aérea N.º 5, estão incluídos a caracterização quantitativa e qualitativa do efluente tratado.

5.5.2 Caracterização Quantitativa

Através dos dados fornecidos pela Base Aérea N.º 5 obtiveram-se os caudais mensais de água residual tratada na ETAR, que se apresentam na Figura 5.9.

Em 2016 e 2019, afluiu à ETAR da Base Aérea N.º 5 um volume de água residual de 68 849m³/ano, 40 513m³/ano e 43 597 m³/ano e 35 923 m³/ano, respetivamente.

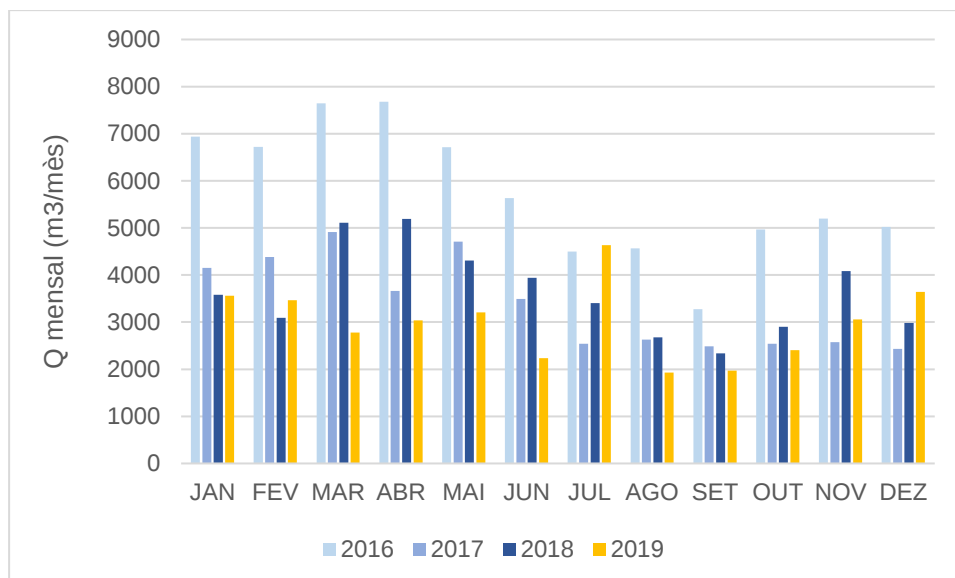


Figura 5.9 - Caudais Mensais de Água Residual Tratada

Da análise da Figura 5.9 é possível observar que, de um modo geral, existe uma diminuição dos caudais de água residual tratada entre os meses de menor precipitação e os de maior precipitação. Tais tendências são influenciadas, como referido anteriormente, pelo encaminhamento de águas pluviais para a ETAR, facto observado entre os anos de 2017 e 2018, sendo que a precipitação registada em 2018 foi superior à de 2017. Outro fator importante que pesa na produção de águas residuais é a afluência de pessoal externo à Unidade, particularmente relacionado com as atividades desenvolvidas no âmbito do DDN entre outras atividades.

Através dos valores dos caudais mensais de água residual tratada disponibilizados, foi possível estimar os caudais médios diários (Q_{md}) referentes a cada mês (Figura 5.10).

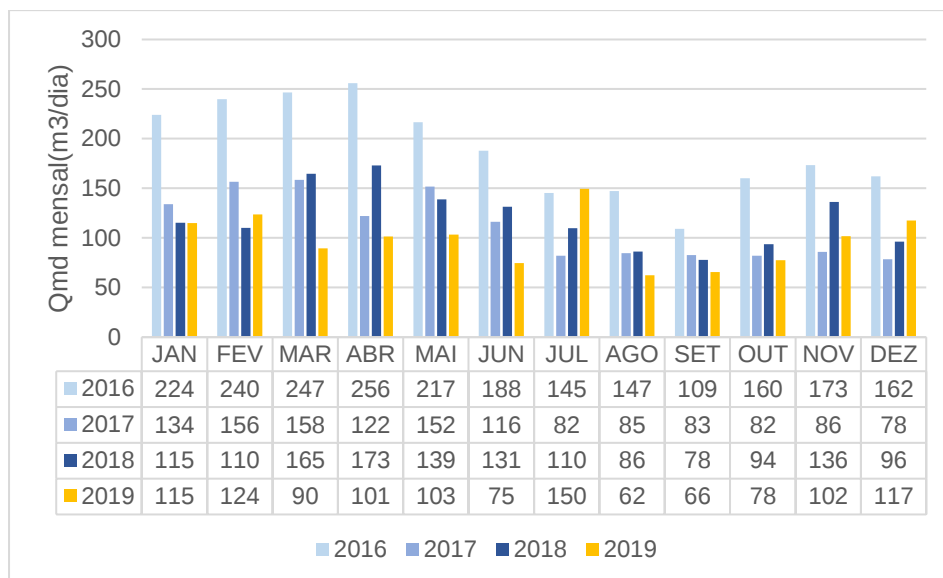


Figura 5.10 - Caudais Médios Diários Mensais de Água residual Tratada

Os valores mínimos, máximos e médios dos caudais médios diários estimados, com base nos dados disponibilizados estão apresentados na Tabela 5.5

Tabela 5.5 - Caudais diários médios, mínimos e máximos de água residual tratada

Ano	Mínimo	Média	Máximo	Unidades
2016	109	189	256	m³/dia
2017	78	111	158	m³/dia
2018	78	119	173	m³/dia
2019	62	98	150	m³/dia

5.5.3 Caracterização Qualitativa

Os dados disponibilizados relativamente às características qualitativas da água residual tratada na ETAR da Base Aérea N. °5 incluem os valores de pH, CBO₅, CQO, SST, N_{Total}, P_{Total} e a presença de metais, nomeadamente o Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Chumbo (Pb).

Os valores de pH do efluente tratado no ano de 2016, 2017 e 2018, encontram-se representados na Figura 5.11.

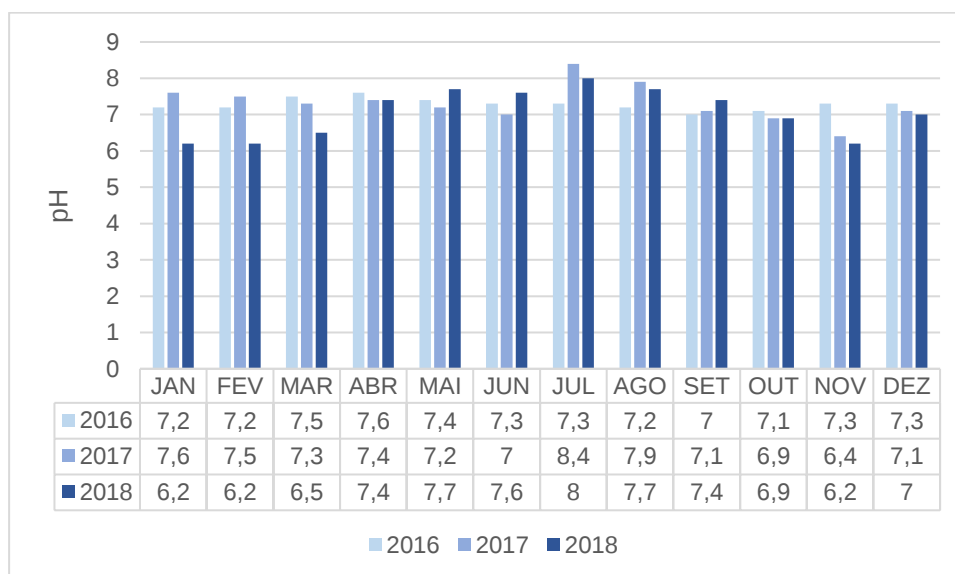


Figura 5.11 - Valores de pH da Água Residual Tratada

A partir dos dados representados na Figura 5.11 foi elaborada a Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Valores Médios, Mínimos e Máximos de pH

Ano	Mínimo	Média	Máxima
2016	7,0	7,3	7,6
2017	6,4	7,3	8,4
2018	6,2	7,1	8,0

Através da análise dos dados da Figura 5.11 e da Tabela 5.6 constatou-se que os valores estão de acordo com os limites admissíveis de descarga no meio recetor, compreendidos entre 6 e 9.

Na Figura 5.12 apresentam-se os valores da CBO₅ presentes no efluente tratado, nos anos de 2016, 2017, 2018 e nos primeiros 7 meses de 2019.

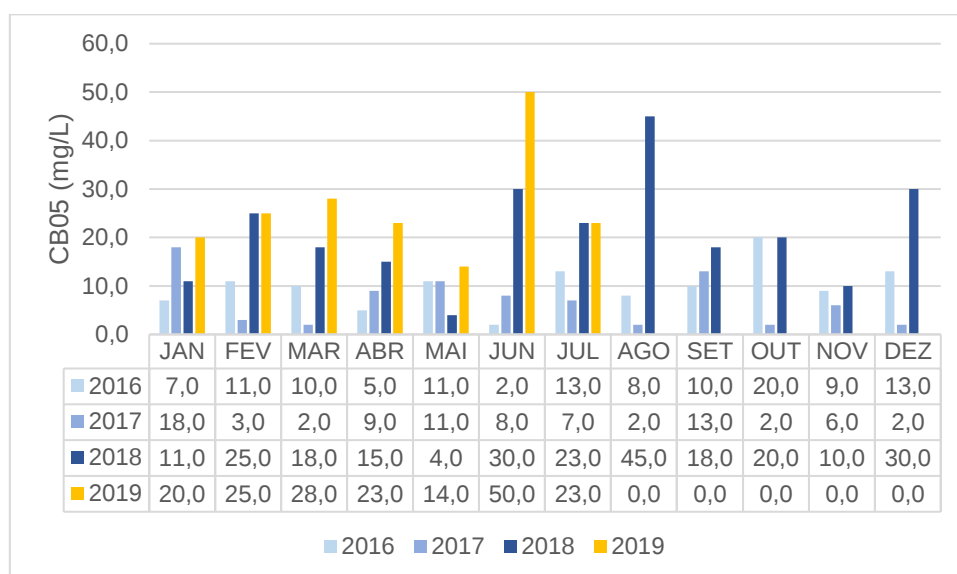


Figura 5.12 - Valores de CBO5 na Água Residual Tratada

Com base nos dados apresentados na Figura 5.12, foi elaborada a Tabela 5.7. Através da análise da mesma verificou-se que, em termos médios, o valor limite de descarga encontra-se dentro dos limites (25 mg/L). No entanto, nos anos de 2018 e 2019, em determinados meses, este valor limite foi ultrapassado, evidenciando assim uma possível alteração negativa relativamente ao desempenho do tratamento secundário.

Tabela 5.7 - Valores Médios, Mínimos e Máximos de CBO₅ presentes no efluente tratado

Ano	Mínimo	Média	Máxima	Unidades
2016	2,0	9,9	20,0	mg/L
2017	2,0	6,9	18,0	
2018	4,0	20,8	45,0	
2019	14,0	26,1	50,0	

Na Figura 5.13 são apresentados os valores da CQO, presentes no efluente tratado para os anos de 2016, 2017, 2018 e os primeiros 7 meses de 2019.

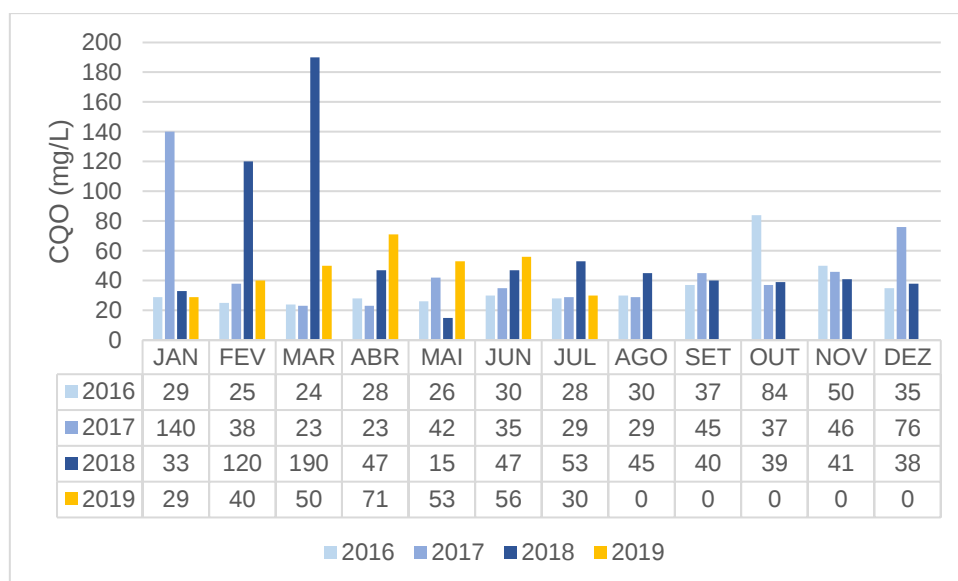


Figura 5.13 - Valores de CQO Presentes no Efluente Tratado

Através da análise da Figura 5.13, obtiveram-se os valores mínimos, médios e máximos de CQO presentes no efluente tratado, apresentados na Tabela 5.8. É possível observar que os valores máximos são na sua maioria, inferiores ao valor limite para descarga (125 mg/L), excetuando casos pontuais.

Tabela 5.8 - Valores Médios, Mínimos e Máximos de CQO presente no efluente tratado

Ano	Mínimo	Média	Máxima	Unidades
2016	24,0	35,5	84,0	mg/L
2017	23,0	46,9	140,0	
2018	15,0	59,0	190,0	
2019	29,0	47,0	71,0	

Na Figura 5.14 são apresentados os dados relativos aos valores de SST presentes no efluente tratado, nos anos de 2016, 2017, 2018 e nos primeiros 7 meses de 2019.

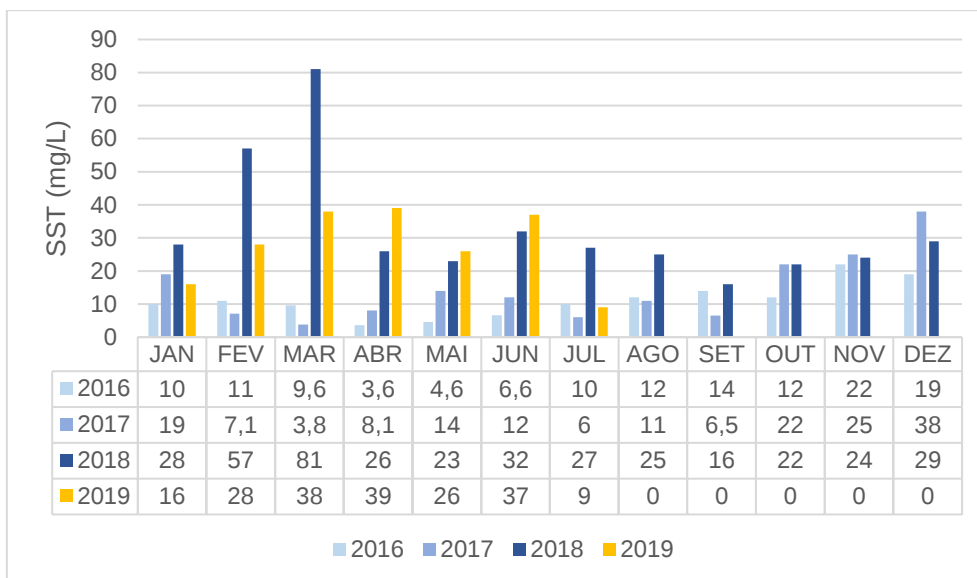


Figura 5.14 - Valores SST Presentes no Efluente Tratado

Com base nos valores apresentados na Figura 5.14, é possível observar os valores mínimos, médios e máximos de SST presentes no efluente tratado, valores estes apresentados na Tabela 5.9. Através da análise da mesma, verificou-se que em média, o valor limite de descarga encontra-se dentro do limite (35 mg/L). No entanto, nos anos de 2018 e 2019, verificou-se um incumprimento constante face a este valor limite, evidenciando uma possível alteração negativa no desempenho do tratamento secundário.

Tabela 5.9 - Valores Médios, Mínimos e Máximos de SST presente no efluente tratado

Ano	Mínimo	Média	Máxima	Unidades
2016	3,6	11,2	22,0	mg/L
2017	3,8	14,4	38,0	
2018	16,0	32,5	81,0	
2019	9,0	27,6	39,0	

Na Figura 5.15 são apresentados os valores referentes a N_{Total} presentes no efluente tratado, nos anos de 2016, 2017, 2018 e nos primeiros 7 meses de 2019.

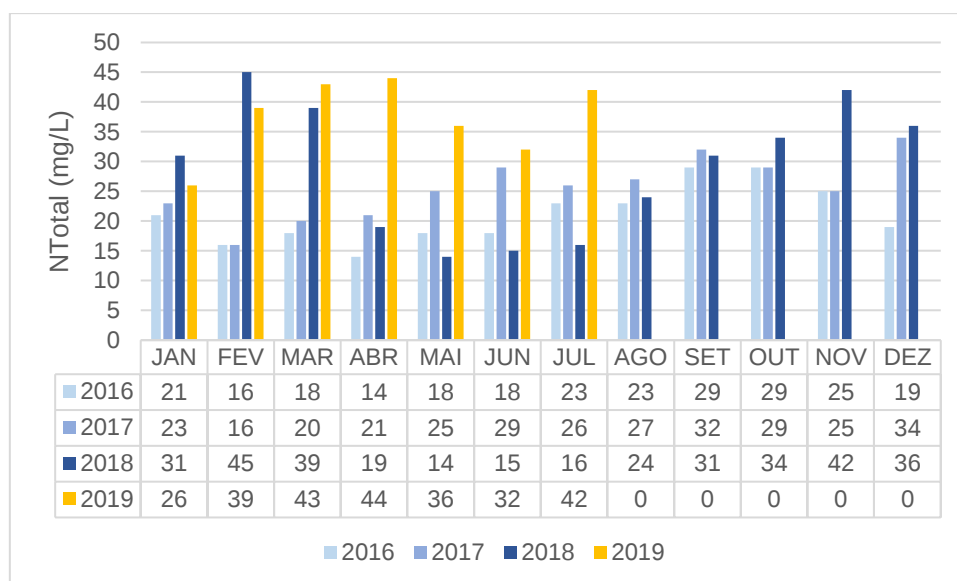


Figura 5.15 - Valores N_{Total} Presentes no Efluente Tratado

Através da análise da Figura 5.15 é possível determinar os valores mínimos, médios e máximos de N_{Total} presentes no efluente tratado (Tabela 5.10). Através da análise da mesma nota-se que, na sua grande maioria, o valor limite para descarga (15 mg/L) é ultrapassado, o que decorre de o tratamento biológico não permitir a sua remoção.

Tabela 5.10 - Valores Médios, Mínimos e Máximos de N_{Total} presentes no efluente tratado

Ano	Mínimo	Média	Máxima	Unidades
2016	14,0	21,1	29,0	mg/L
2017	16,0	25,6	34,0	
2018	14,0	28,8	45,0	
2019	26,0	37,4	44,0	

Na Figura 5.16 são apresentados os valores P_{Total} presentes no efluente tratado, nos anos de 2016, 2017 e 2018, não existindo dados relativos a 2019.

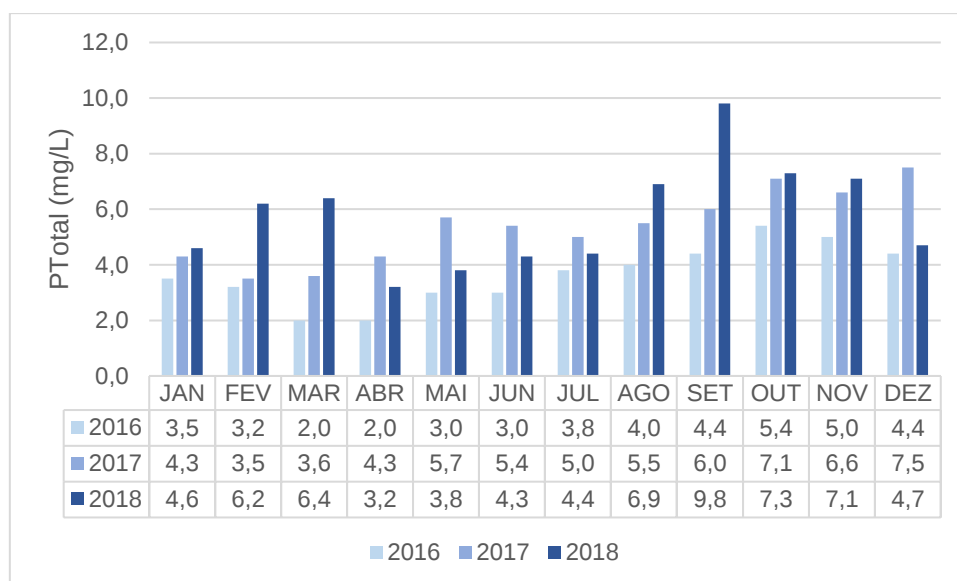


Figura 5.16 - Valores de P_{Total} Presentes no Efluente Tratado

Através da análise dos dados da Figura 5.16 e dos valores obtidos, expostos na Tabela 5.11 é possível observar que existe um cumprimento do valor limite estipulado (10 mg/L).

Tabela 5.11- Valores Médios, Mínimos e Máximos de P_{Total} presentes no efluente tratado

Ano	Mínimo	Média	Máxima	Unidades
2016	2,0	3,6	5,4	mg/L
2017	3,5	5,4	7,5	
2018	3,2	5,7	9,8	

Nas Tabelas 5.12, 5.13 e 5.14 encontram-se representados os valores de Ferro, Zinco e Chumbo para os anos de 2016, 2017 e 2018, respetivamente.

Tabela 5.12 - Valores Mínimos, Médios e Máximos de Fe presente no efluente tratado

Ano	Mínimo	Média	Máxima	Unidades
2016	0,1	0,2	0,2	mg/L
2017	0,1	0,3	0,5	
2018	0,1	0,1	0,1	

Tabela 5.13 - Valores Mínimos, Médios e Máximos de Zn presente no efluente tratado

Ano	Mínimo	Média	Máxima	Unidades
2016	0,1	0,1	0,1	mg/L
2017	0,1	0,1	0,1	
2018	0,1	0,1	0,2	

Tabela 5.14- Valores Mínimos, Médios e Máximos de Pb presente no efluente tratado

Ano	Mínimo	Média	Máxima	Unidades
2016	0,1	0,1	0,1	mg/L
2017	0,1	0,1	0,1	
2018	0,1	0,1	0,1	

Com base nos dados explanados verificou-se que houve um cumprimento dos valores limites para descarga de Fe (1,0 mg/L), Zn (5,0 mg/L) e Pb (1,0 mg/L), respetivamente.

5.6 Reutilização de Água na ETAR da Base Aérea N. º5

5.6.1 Estimativas de volumes de água a reutilizar

A estimativa do caudal passível de reutilizar teve por base a identificação e estimativa dos consumos discriminados para usos não potáveis, com base nos dados fornecidos pela Unidade. No entanto, devido à ausência de caudalímetros nas várias áreas da Base Aérea N.º5 e com apenas os valores de alguns consumos discriminados, todas as capitações utilizadas são estimativas, podendo não corresponder à realidade.

Entre as várias operações de manutenção do funcionamento que requerem o uso de água, da Base Aérea N. º5 estão incluídas a:

- Lavagem de aeronaves;
- Lavagem dos hangares de manutenção e weather shelter;
- Lavagem de veículos terrestres e equipamentos;
- Rega.

A lavagem de aeronaves apresenta um consumo de 1 m³ por aeronave, e embora as lavagens não sejam realizadas todos os meses devido aos procedimentos de manutenção planeadas, escolheu-se estimar o seu consumo considerando o panorama atual e por simplicidade uma estimativa mensal de 4m³.

Os hangares de manutenção e weather shelters, são lavados duas vezes por semana, apresentando uma capitação de 300 L/semana e 190 L/semana, respetivamente, e a máquina industrial de lavagem de pavimentos dispõe de um circuito de água fechado, que após a utilização é descarregado nos separadores de hidrocarbonetos mais próximos. Os veículos terrestres e equipamentos são lavados semanalmente, com recurso a um sistema manual de alta pressão sendo que nessa semana são lavadas cerca de 15 viaturas/equipamentos com uma capitação estimada de 150 L/uso.

Devido à ausência do caudalímetro, torna-se especialmente difícil determinar o volume necessário para satisfazer as necessidades hídricas da rega, uma vez que seria necessário o conhecimento e determinação de variáveis como a evaporação, a velocidade do vento, coeficiente de cultura e a humidade na região. Como não é possível determinar as variáveis apresentadas sem estudos e ensaios adicionais, a captação estimada para a rega toma o valor de $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{mês}$ de acordo com MAOT (2001). Estes valores têm em consideração o período em que é realizado a rega, nomeadamente nos meses de menor precipitação e maior radiação e temperatura. A estimativa de consumo foi efetuada através da multiplicação da captação e a área total de rega de 7.720 m^2 . Não foram considerados os volumes para situações de incêndio, uma vez que as viaturas utilizadas para esse fim, podem ser utilizadas para outros fins como o fornecimento de água potável, tornando-se assim incompatível as duas situações. A utilização de água nos exercícios militares também não é contabilizada devido ao contacto direto com a água residual tratada e os militares, exigindo assim um nível de qualidade do efluente tratado muito superior aos demais usos identificados, pela mesma razão não foram considerados igualmente a utilização de água residual tratada em processos industriais e na recarga de autoclismos.

Os valores alusivos aos consumos encontram-se representados na Tabela 5.15

Tabela 5.15 - Consumos das operações de manutenção, que requerem água da Base Aérea N.º5

Identificação	Consumo	Unidades	Consumo	Unidades
Lavagem Aeronaves	48,0	m^3/ano	0,13	m^3/dia
Lavagem Hangares e weather shelter	23,5	m^3/ano	0,06	m^3/dia
Lavagem Veículos/ equipamentos	108,0	m^3/ano	0,30	m^3/dia
Rega	9264,0	m^3/ano	25,38	m^3/dia

Uma vez que os valores de consumo referentes à lavagem de hangares e weather shertes, à lavagem de veículos e equipamentos, assim como a rega, são valores teóricos, baseados em estimativas, foi assumida uma margem de erro de 33%. Deste modo os consumos identificados tomam os valores apresentados na tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Consumos das operações de manutenção, que requerem água da Base Aérea N.º5, assumindo uma margem de erro de 33%

Identificação	Consumo	Unidades	Consumo	Unidades
Lavagem Hangares e weather shelter	31,28	m³/ano	0,09	m³/dia
Lavagem Veículos/ equipamentos	143,6	m³/ano	0,39	m³/dia
Rega	12321,0	m³/ano	33,76	m³/dia

É de salientar que, de acordo com os consumos diários referente à rega, o consumo diário é estimado em 33,76 m³/dia, valor este que tem em conta os 365 dias do ano. No entanto, a rega é realizada apenas durante 6 meses (maio a outubro), totalizando 184 dias, pelo que o valor de consumo de água para rega é equivalente a 66,96 m³/dia durante o referido período.

A agregação dos consumos representados na Tabela 5.20 revela um consumo total de aproximadamente 12560 m³/ano, cerca de 34,41 m³/dia, sendo que a rega representa aproximadamente 98% do consumo total. Salienta-se que os valores de consumos totais estimados representam 19 % do consumo total de água da Base Aérea N.º5.

Comparando os valores de consumos totais das operações de manutenção (34,41 m³/dia) com o caudal médio diário de água residual tratada (98 m³/dia) verificou-se um potencial de reutilização de aproximadamente 35%, no entanto quando considerada apenas os meses em que é realizada a rega (66,96m³/dia), o potencial de reutilização toma o valor de 68%. Atendendo aos valores apresentados é possível verificar que não existe limitações em termos de disponibilidade de água residual tratada.

5.6.2 Limitações

As capitações estimadas para 2019 (256 L/(hab.dia)) não correspondem à captação para usos não potáveis. Este valor é referente à captação global (incluindo usos potáveis, não potáveis e falhas na rede de distribuição) efetivamente necessária para que sejam cumpridas as necessidades reais da Base Aérea N.º 5.

Neste sentido, foram colocadas duas hipóteses:

Cenário 1 - Fugas e Perdas na ordem dos 20%

Cenário 2 - Fugas e Perdas na ordem dos 35%

Os cenários apresentados, são formulados, tendo em conta o RGSPDADAR, o “Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2019) Volume 1 – Caracterização do setor de águas e resíduos”, (2019) e de acordo com Ramos, (2017). Segundo o RGSPDADAR, na ausência de dados, as fugas e perdas num sistema deverão em caso

algum tomar um valor inferior a 10%. O “Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2019) Volume 1 – Caracterização do setor de águas e resíduos” refere que em 2019, o SMAS Leira apresentava cerca de 35.4% de água não faturada, fundamentalmente associada a fugas e perdas. Segundo Ramos, (2017), as fugas e perdas de água na Força Aérea obtidas, utilizando o Complexo Militar de Sintra como referência, situam-se entre os 27.8% e os 33.5%. No entanto estes valores são, como mencionados, baseados no Complexo Militar de Sintra, cuja idade da rede de distribuição é cerca de 20 anos mais nova que a que se encontra na Base Aérea N.º5.

Tendo em conta os cenários equacionados, de acordo com a percentagem de perdas utilizada, obtém-se uma diferença significativa relativamente às captações totais e por conseguinte, dos consumos totais estimados.

Cenário 1 - Fugas e Perdas na ordem dos 20%

A partir dos dados fornecidos pela Base Aérea N.º 5 relativamente aos consumos totais de água e considerando uma perda de 20% associada a fugas nos sistemas de distribuição, são estimados os volumes reais necessários, dados estes apresentados na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 - Consumos totais de água proveniente dos furos, considerando 20% de perdas

Ano	Consumo	Unidades	Consumo	Unidades
2016	83 163	m³/ano	228	m³/dia
2017	90 442	m³/ano	248	m³/dia
2018	50 204	m³/ano	138	m³/dia
2019	53 725	m³/ano	147	m³/dia

Com base nos valores estimados apresentados na Tabela 5.15, utilizando a mesma captação teórica para usos potáveis (130 L/(hab.dia)) são estimadas as captações e os consumos não potáveis diários, dados apresentados na Tabela 5.18.

Tabela 5.18 - Captações e consumos diários de água para usos não potáveis, considerando 20% de perdas

Ano	Captação	Unidades	Consumo	Unidades
2016	152	L/(hab.dia)	123	m³/dia
2017	211	L/(hab.dia)	153	m³/dia
2018	36	L/(hab.dia)	30	m³/dia
2019	75	L/(hab.dia)	54	m³/dia

Cenário 2 - Fugas e Perdas na ordem dos 35%

A partir dos dados fornecidos pela Base Aérea N. °5 relativamente aos consumos totais de água e considerando uma perda de 35% associada a fugas nos sistemas de distribuição, são estimados os volumes reais necessários, dados apresentados na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 - Consumos totais de água proveniente dos furos, considerando 35% de perdas

Ano	Consumo	Unidades	Consumo	Unidades
2016	67 570	m³/ano	185	m³/dia
2017	73 484	m³/ano	201	m³/dia
2018	40 791	m³/ano	112	m³/dia
2019	43 651	m³/ano	120	m³/dia

Com base nos valores estimados apresentados, utilizando a mesma capitação teórica para usos potáveis (130 L/(hab.dia)) são estimadas as capitações e os consumos não potáveis diários, valores apresentados na Tabela 5.20.

Tabela 5.20 - Capitações e consumos diários de água para usos não potáveis, considerando 35% de perdas

Ano	Capitação	Unidades	Consumo	Unidades
2016	99	L/(hab.dia)	80	m³/dia
2017	147	L/(hab.dia)	107	m³/dia
2018	5	L/(hab.dia)	4	m³/dia
2019	37	L/(hab.dia)	26	m³/dia

Nível de tratamento instalado

A ETAR da Base Aérea N. ° 5 está sobredimensionada, servindo atualmente cerca de 717 indivíduos, face aos 3000 previstos para o ano horizonte de projeto. Este aspeto, aliado ao facto de se constatar um ineficiente funcionamento da ETAR, provoca a ocorrência de consequências negativas na qualidade do efluente tratado, como é possível constatar nos dados apresentados no ponto “Caracterização Qualitativa”. Um outro fator que toma especial importância, é o facto de não existir nenhum processo de desinfecção associado à ETAR, sendo necessário neste sentido adicionar etapas de tratamento, de modo que a qualidade do efluente produzido corresponda aos níveis de qualidade exigidos.

Localização da ETAR

A localização da ETAR encontra-se a jusante dos locais onde existe a possibilidade de utilização de água residual tratada, permitindo deste modo uma adução das águas residuais produzidas pela Unidade até à ETAR de forma gravítica. Para que a adução da água residual tratada se realizasse no interior da Unidade, seria necessário a utilização condutas elevatórias o

que levará a um encarecimento do projeto de reutilização devido ao elevado custo adicional, associado ao sistema de distribuição.

Armazenamento

Existe uma torre de abastecimento de água perto do sistema de rega, situado a 680 metros da ETAR da Unidade, com uma capacidade de 250m³. No entanto esta encontra-se desativada de momento. A sua reabilitação e posterior utilização poderia tornar-se vantajoso do ponto de vista económico, permitindo reduzir os custos.

Qualidade da água residual tratada

De acordo com a identificação dos usos discriminados verificam-se usos urbanos fora do contexto urbano como a lavagem de veículos e aeronaves, a lavagem dos hangares de manutenção e *weather shelters*. Enquanto que a lavagem de veículos e aeronaves, dada a natureza da operação (lavagem manual), requer uma maior exigência a nível do tratamento de afluentes sendo equiparável à classe de rega A (rega sem restrição de acesso), de acordo com o Decreto-Lei 119/2019, a qualidade da água destinada para lavagem de hangares é equiparável à qualidade exigida para a lavagem de ruas. A qualidade necessária para rega do relvado da zona central da Unidade é equiparável com a classe de rega B (rega com restrição de acesso), de acordo com o Decreto-Lei 119/2019.

Na Tabela 5.21 são apresentados os valores limites de qualidade impostos a cada um dos usos identificados.

Tabela 5.21 - Valores de qualidade água para reutilização de acordo com usos

Identificação	CBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)	<i>E.coli</i> (ufc/100mL)	N _{Total} (mg/L)	N _{Amoniacal} (mg/L)	P _{Total} (mg/L)
Classe A	≤10	≤10	≤10	15	10	5
Classe B	≤25	≤35	≤100			
Lavagem de ruas	≤25	-	-			

Boas práticas

Nos projetos de reutilização de águas residuais tratadas deverá ser disponibilizada informação ao público de forma clara e de fácil compreensão, acerca da qualidade de água para reutilização, o tipo de utilização a que se destina e ainda medidas de precaução a tomar. Relativamente aos funcionários que trabalhem em sistemas de produção de água para reutilização deveram ser promovidas formações de higiene e segurança no trabalho, de forma a que sejam adotadas medidas de segurança e comportamentos corretos, minimizando assim os contactos indevidos. As tubagens e equipamentos que se destinem à utilização de águas para reutilização deveram ser devidamente assinaladas cores que permitam de forma clara evidenciar o transporte ou utilização de água para reutilização, evitando deste modo, ligações cruzadas

entre os sistemas de abastecimento de água ou drenagem e possíveis contactos indevidos de água (APA, 2018)

A Portaria n.º 266/2019 aprova a informação e sinalética a utilizar pelos produtores e utilizadores de água para reutilização. Na Figura 5.17 e Figura 5.18 e Figura 5.19 são apresentados a simbologia a adotar nos locais e produção de água para reutilização.



Figura 5.17 - Simbologia a Utilizar nos Locais e Produção de Águas para Reutilização (adaptado de Portaria n.º 266/2019)

Para conservar a água natural é usada In order to conserve water	 Água para Reutilização Water Reuse
Grau de qualidade Level of water quality	*** - Elevado (High)
Barreiras Barriers	(descrição)
Aplicação Use to	Rega sem restrição de acesso ⁽¹⁾ Irrigation without access restriction
Precauções Pay attention	 Água imprópria para consumo Do not drink
Cuidados Precautions	Lave as mãos após contacto com a água Wash hands after contacting

Figura 5.18 - Simbologia a Utilizar em Caso da Qualidade da Água para Reutilização ser Classe A ou B (adaptado de Portaria n.º 266/2019)



Figura 5.19 - Simbologia a Utilizar em Caso de Restrição de Acesso (adaptado de Portaria n.º 266/2019)

5.6.3 Soluções

Perante o que foi passível de ser analisado surgem algumas soluções para a viabilização da reutilização da água residual tratada que são, de seguida, apresentadas:

Soluções de tratamento adicional

A seleção de etapas de tratamento adicional a adotar foi feita com base nos pressupostos, apresentados na presente dissertação, que se encontram no subcapítulo “Instrumentos Legais” e as vantagens e desvantagens das tecnologias apresentadas.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto o tratamento exigido para a reutilização de água residual deve ser superior ao tratamento secundário (desinfecção), independentemente do tipo de classe de rega. A Norma Portuguesa 4434 2005 por outro lado recomenda uma etapa adicional de filtração a montante da desinfecção. A utilização de ambas tecnologias de tratamento permite obter um efluente de qualidade superior. Importa referir que uma qualidade de efluente superior, permite um aumento dos níveis aceitáveis de exposição humana, no entanto, associado a este aumento de qualidade de efluentes, existe um aumento dos custos inerentes às tecnologias utilizadas influenciando o custo final.

A etapa adicional de filtração permite melhorar a eficiência do processo de desinfecção a jusante, uma vez que perante um sistema de lamas ativadas, qualquer desequilíbrio no funcionamento do processo biológico, poderá provocar uma elevada concentração de SST no decantador secundário, podendo pôr em causa a eficiência do processo de desinfecção (e.g. desinfecção através de UV). De facto, é possível observar que a qualidade do efluente tratado na ETAR da Base Aérea N.º.5 tem vindo a sofrer profundas alterações, devido aos desequilíbrios provocados no processo biológico, fruto de um sobredimensionamento e da elevada variação populacional.

Tendo em consideração os vários fatores que afetam a ETAR e o nível de qualidade exigido, para a reutilização de água residual, a filtração em areia é a tecnologia de tratamento proposta mais apelativa uma vez que:

- Segundo Asano et al., (2007) a filtração em profundidade, pelo facto de ser uma tecnologia amplamente conhecida comumente utilizada em projetos de reutilização de água residual, permite uma remoção eficiente de SST e uma fração do CBO5 particulado, possibilitando assim uma desinfecção eficiente a posteriori. De acordo com Roccaro, (2018), a filtração em profundidade, como por exemplo a filtração em areia, é uma tecnologia que permite reduzir alguns agentes patogénicos, como os coliformes fecais, e é extremamente atrativa na ótica de simplicidade tecnológica e baixo custo de investimento e de operações e manutenção;
- As tecnologias de membranas como a microfiltração e a ultrafiltração, de acordo com Asano et al., (2007), permitem obter um efluente com uma qualidade superior, com uma remoção superior de SST e consequente redução de turbidez e ainda a possibilidade de remover vírus, bactérias, parasitas e colóides, quando comparado com outras tecnologias, como a filtração superficial ou em profundidade. No caso de ETAR com todo um processo existente, a separação por membranas torna-se uma opção muito apelativa uma vez que a necessidade de espaço para a implementação deste tipo de tecnologias é muito inferior quando comparado com sistemas convencionais, permitindo substituir a decantação e filtração do efluente. No entanto, no presente estudo não são consideradas tecnologias de filtração através de membranas, pelo facto de os caudais, para usos não potáveis identificados, apresentarem valores algo reduzidos e deste modo não justificarem os custos superiores, nomeadamente energéticos, associados a este tipo de processo;
- A utilização de membranas como nanofiltração e osmose inversa, não são consideradas pelo facto de serem tecnologias muito exigentes na qualidade do afluente, com valores baixos de turbidez e por conseguinte a necessidade de etapas de pré-tratamento e um elevado custo associado à complexidade tecnológicas, os investimentos necessários e operação e manutenção, como mencionado por Roccaro, (2008). Uma outra razão deve-se ao facto de a qualidade exigida para a reutilização de água residual para usos não potáveis identificados, não necessitar de um tratamento que produza um efluente de excelente qualidade e por conseguinte mais caro.

A desinfecção com recurso a cloro, sobre a forma de hipoclorito de sódio, é a tecnologia de desinfecção proposta para as etapas de tratamento adicional uma vez que:

- De acordo com Gómez-Lopez et al., (2009) a utilização de cloro, é atualmente o sistema mais difundido dada a sua eficiência na remoção de bactérias e baixo custo;
- Segundo Asano et al., (2007) o hipoclorito de sódio é uma solução mais atraente relativamente ao cloro gasoso, uma vez que apresenta uma maior simplicidade de utilização. O cloro gasoso é produzido in situ devido à elevada toxicidade,

corrosão e riscos associados à sua utilização, a passo que o hipoclorito de sódio, apresenta uma menor toxicidade, corrosão e pode ser adquirido, diminuindo os custos associados ao armazenamento e construção civil;

- O ozono, de acordo com Nasuhoglu et al., (2018) provou ser uma tecnologia de desinfecção com uma elevada eficácia na remoção de vírus, bactérias e protozoários mais resistentes assim como contaminantes emergentes, devido ao elevado poder oxidante. No entanto, a ausência de um residual de desinfecção, conjugada com os elevados custos associados ao investimento e consumo energético, a necessidade de pessoal especializado, torna a ozonização um processo pouco atrativo;
- A radiação UV segundo Carré et al., (2018) é uma solução de desinfecção comumente presente nos projetos de reutilização de águas residuais uma vez que é uma tecnologia de baixa complexidade e economicamente viável, oferecendo ainda uma vantagem relativamente a outras tecnologias de desinfecção, nomeadamente a ausência de subprodutos. Apesar dos factos apresentados, a desinfecção com recursos a radiação UV, apresenta custos de investimento superiores, quando comparados à cloragem, não permitem um residual no efluente tratado e, portanto, a possível fotoreativação. O facto de ser uma tecnologia que depende de processos a montante, para uma eficiente desinfecção, surge também como uma desvantagem, considerando o atual mau funcionamento da ETAR;

Importa referir que independentemente do tipo de tecnologias a adotar nas etapas de tratamento adicional, é necessário a adição de cloro para que seja possível manter um residual de desinfecção ao longo do sistema de distribuição, impedindo assim o ressurgimento de agentes patogénicos e o desenvolvimento de biofilme no sistema de distribuição.

De forma reduzida, as etapas de tratamento adicional serão preconizadas por filtração em areia e desinfecção com recurso a cloro, sobre a forma de hipoclorito de sódio.

Soluções de Distribuição

O sistema de distribuição proposto consiste na adução, com o auxílio de uma estação elevatória de águas residuais, ligando a ETAR ao reservatório existente na Base Aérea N. º5.

Importa referir que embora tenham sido identificados vários usos não potáveis, como a lavagem de aeronaves, dos hangares de manutenção e lavagem de veículos, a rega é o grande consumidor (98% do consumo não potável). Deste modo para uma maior simplicidade nos processos de distribuição, tendo em conta o nível de qualidade exigido e as quantidades associadas, considera-se apenas a adução para o reservatório existente da água destinada à rega. Este facto permite projetar o sistema adutor, de uma forma mais adequada, evitando o sobredimensionamento.

O dimensionamento do sistema de distribuição, consiste na adução do caudal a reutilizar. No entanto é necessário considerar para o dimensionamento o caudal associado a perdas na

rede, assumindo 20% de perdas, assim como um fator de ponta de 1.5. Deste modo, o caudal de dimensionamento é estimado em 114 m³/dia. Foram considerados 2 tempos de funcionamento das bombas distintos, a bomba funciona durante 12 h ou durante 10 horas, esta escolha é baseada no facto de um tempo de funcionamento superior, proporcionar um custo de instalação inferior, mas encarece o processo de adução, pelo facto de as perdas de carga contínuas serem superiores, assim como a altura de elevação e o consumo energético associado. Para o tempo de funcionamento de 12 horas e 10 horas, obteve-se os diâmetros comerciais de PEAD de 63 mm e 75 mm respetivamente. De notar que em ambos os casos as velocidades mínimas (0,6 m/s) e máximas (1,5 m/s) determinadas pelo RGSPDADAR.

O reservatório existente na Base Aérea N. º5, encontra-se a uma distância de 680 m da ETAR e a cota 72,21 m e a ETAR encontra-se à cota 40,1 m. As alturas de elevação resultantes para 12 horas de funcionamento da bomba e para 10 horas são 49,1 m e 42,2 m respetivamente. Importa referir que o sistema de distribuição deverá encontra-se a uma profundidade mínima de 0,80 m entre o nível do terreno e a geratriz superior da conduta a instalar como regulamentado no RGSPDADAR.

Na tabela 5.22 e 5.23 são apresentados os resultados obtidos, considerando um período de 5 anos, relativamente às estimativas de custos associados à implementação e funcionamento, do sistema de distribuição para os diâmetros comerciais obtidos, 63 mm e 75 mm respetivamente.

Tabela 5.22 – Estimativa de custos do sistema de distribuição entre a ETAR e o Reservatório (PEAD 63)

Volume Distribuído (m ³)	Consumo Energético (kWh)	Custos Associados (€)						
		Energia	Instalação bombas	Construção Civil	Operação e Manutenção	Tubagens	Custo Total	Custo Atualizado
72 317	13 799	2 760	37 566	42 944	138	8 160	91 568	91 430

O custo atualizado estimado é de aproximadamente 1,26 €/m³.

Tabela 5.23 - Estimativa de custos do sistema de distribuição entre a ETAR e o Reservatório (PEAD 75)

Volume Distribuído (m ³)	Consumo Energético (kWh)	Custos Associados (€)						
		Energia	Instalação bombas	Construção Civil	Operação e Manutenção	Tubagens	Custo Total	Custo Atualizado
72 317	11 880	2 376	39 409	43 129	119	8 840	93 873	93 753

O custo atualizado estimado é de aproximadamente 1,30 €/m³.

No Anexo B, encontraram-se de forma mais detalhada as estimativas de custos associadas ao o do sistema de distribuição.

5.7 Estimativa de custos

A estimativa dos custos associados ao projeto de reutilização de água residual na Base Aérea N. °5 (Tabela 5.24), têm por base os custos inerentes às etapas adicionais de tratamento e do sistema de distribuição a implementar no período de 5 anos.

Importa referir, que os custos de Investimento, englobam as despesas referentes à construção civil, tanto para o sistema de distribuição como para as etapas de tratamento adicional e a aquisição de equipamentos em ambos os casos. Os custos, relativamente ao sistema de distribuição, têm em conta apenas a opção mais barata (PEAD 63mm). Os custos relativos à Operação e Manutenção, consideram os custos do consumo energético para ambas as etapas, os reagentes a utilizar e as operações e manutenções necessárias para assegurar o bom funcionamento do sistema a implementar. O custo associado à água proveniente dos furos, representa os gastos que serão evitados ao utilizar água residual tratada em vez de água potável, para os vários usos identificados. De notar que os custos associados às etapas de tratamento adicional a implementar foram obtidos através um fornecedor de equipamentos e os consumos energéticos associados a cada tipo de tratamento de acordo com Akhoundi & Nazif, (2018).

Tabela 5.24 - Estimativas de custos associados à implementação do projeto na Base Aérea N. °5

Volume Distribuído (m ³)	Custos Associado (€)			
	Investimento	Operação e Manutenção	Água proveniente dos furos	Custo Final
72 317	130 511	2 471	-5 424	127 727

Atendendo aos custos totais inerentes à implementação do projeto, estimou-se um preço de 1,77 €/m³.

No Anexo C, encontram-se dispostas de forma mais detalhada as estimativas relativas à implementação do projeto.

Com base nos resultados obtidos, surgem alguns dados que merecem atenção:

- A Base Aérea N. °5, é abastecida por 3 furos, recaindo sobre a Unidade os custos associados ao abastecimento. Estes custos são fundamentalmente associados ao consumo energético, tomando o valor de 0,09 €/m³;
- O preço por metro cubico associado ao projeto é aproximadamente 19,7 vezes mais caro, do que os custos atualmente suportados pela Unidade.

Na tabela 5.25 são apresentadas as tarifas aplicadas no Município de Leiria, os custos atualmente suportados pela Unidade, e os custos de acordo com o sistema a adotar

Tabela 5.25 – Tarifas aplicadas no Município de Leiria, custo suportado pela Unidade e custo do sistema a adotar

	Não Doméstico	Obras e estaleiros	Entidade Gestora	Base Aérea N. º5	Projeto de reutilização
Unidades	€/m ³				
Tarifas	1,575	1,575	0,5200	0,090	1,770

Como é possível observar, os custos inerentes ao projeto de reutilização são superiores aos praticados no Município de Leiria. De facto, o custo por metro cúbico de água residual tratada custa 1,12 vezes mais, do que a tarifa mais cara praticada.

Importa referir que as estimativas de custos associados, são na sua essência, estimativas. Deste modo, os valores obtidos poderão diferir dos valores reais de um estudo técnico-económico real.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A presente dissertação, assim como os resultados nela discutidos, permite algumas conclusões, nomeadamente:

- Existem limitações à implementação do projeto de reutilização;
- As limitações que se destacam são, na sua maioria, relacionadas com o mau funcionamento da ETAR e com os volumes de água a reutilizar;
- A flutuação populacional na Base Aérea N.º 5 e o sobredimensionamento da ETAR, limitam um tratamento eficiente. Deste modo, a qualidade do efluente tratado tem vindo a deteriorar-se;
- A ausência de caudalímetros, nas várias áreas da base, não permite obter valores reais dos consumos. Deste modo, a obtenção de consumos é baseada em estimativas e, conseqüentemente, propensa a erros. Estima-se que as fugas e perdas de água na rede de distribuição atualmente existente, possam alcançar os 35%;
- O nível de qualidade exigido para a classe A e usos urbanos e paisagísticos difere da qualidade exigida para a classe B. Deste modo, tendo em conta os volumes estimados, optou-se por efetuar, exclusivamente, o tratamento da água destinada à rega;
- A rega representa cerca de 98% dos usos identificados e 19% dos consumos totais da base. No entanto, apenas se realiza durante 6 meses;
- Preconiza-se que o tratamento terciário seja realizado através do recurso a uma etapa de filtração e a uma etapa de desinfecção, tendo-se optado por uma filtração em pressão e desinfecção com recurso a hipoclorito de sódio;
- A estimativa do custo associado ao tratamento terciário e ao sistema de distribuição foi de 127 727 Euros; e o custo por metro cúbico de água tratada a reutilizar foi de 1,77€/m³;
- O valor referido anteriormente é muito superior ao custo atual da água utilizada na Unidade (0,09€/m³). A diferença de preços poderá ser justificada pelo diminuto volume a reutilizar e, portanto, os custos associados à construção civil, à aquisição de equipamentos, às tubagens e à instalação de bombas serem mais dispendiosos;
- Quando comparado com o tarifário praticado no Município de Leira é possível observar que o efluente tratado surge como uma opção menos viável, sendo 1,12 vezes mais caro do que a tarifa mais cara (1,575 €/m³);
- O elevado custo inerente ao projeto de reutilização torna-o numa opção economicamente pouco atrativa.

Considerando o presente estudo apresenta-se algumas recomendações:

- Seria necessário um estudo técnico-económico mais detalhado devido à diferença substancial entre os preços atualmente suportados pela Unidade e os associados ao projeto a implementar. No estudo deverá haver um contacto direto entre a Unidade, fornecedores de equipamentos e empreiteiros permitindo obter uma estimativa mais fidedigna;
- A identificação de possíveis utilizadores finais e dos volumes de água necessários para satisfazer os mesmos, poderia permitir uma reutilização total do efluente produzido na ETAR;
- A instalação de caudalímetros nas áreas de consumo de água permitiria identificar os consumos reais, as fugas e perdas de água. Esta abordagem permitiria, possivelmente, uma redução do consumo de água na Unidade de forma mais económica quando comparada à reutilização.

Referências Bibliográficas

- Akhoundi, A., & Nazif, S. (2018). Sustainability assessment of wastewater reuse alternatives using the evidential reasoning approach. *Journal of Cleaner Production*, 195, 1350–1376. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.220>
- Al-Jasser, A. O. (2011). Saudi wastewater reuse standards for agricultural irrigation: Riyadh treatment plants effluent compliance. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 23(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2009.06.001>
- Albinana-Gimenez, N., Clemente-Casares, P., Bofill-Mas, S., Hundesa, A., Ribas, F., & Girones, R. (2006). Distribution of human polyomaviruses, adenoviruses, and hepatitis E virus in the environment and in a drinking-water treatment plant. *Environmental Science and Technology*, 40(23), 7416–7422. <https://doi.org/10.1021/es060343i>
- Alcamo, J., Henrichs, T., Rösch, T., Alcamo, J., Henrichs, T., & Rösch, T. (n.d.). *World's Water in 2025*. 2.
- APA. (2016) Licença de Utilização dos Recursos Hídricos - Rejeição de Águas Residuais. Processo n.º: 450.10.04.01.003809.2016.RH4
- APA. (2019a). Planeamentos. Obtido 16 outubro de 2019, de <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9>
- APA. (2019b). PENSAAR 2020. Obtido 16 outubro de 2019, de <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=1098>
- Asami, M., Kosaka, K., & Kunikane, S. (2009). Bromate, chlorate, chlorite and perchlorate in sodium hypochlorite solution used in water supply. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 58(2), 107–115. <https://doi.org/10.2166/aqua.2009.014>
- Asano, T., Maeda, M., & Takaki, M. (1996). Wastewater reclamation and reuse in Japan: Overview and implementation examples. *Water Science and Technology*, 34(11 pt 7), 219–226. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(96\)00841-4](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(96)00841-4)
- Asano, Takashi, Burton, F., Leverenz, H. L., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). Water Reuse: Issues, Yechнологies, and Applications. In *Metcalf & Eddy, Inc.*
- Azevedo, H. (2015, julho). *PO SEUR: OPORTUNIDADES DE FINANCIAMENTO* [PowerPoint slides]. Obtido de https://poseur.portugal2020.pt/media/37863/apresentacao_poseur_dra-helena_julho2015.pdf
- Baimova, Y. A., Murzaev, R. T., & Dmitriev, S. V. (2014). Mechanical properties of bulk carbon nanomaterials. *Physics of the Solid State*, 56(10), 2010–2016. <https://doi.org/10.1134/S1063783414100035>
- Bakopoulou, S., & Kungolos, A. (2009). Investigation of wastewater resuse potential in Thessaly region, Greece. *Desalination*, 248(1–3), 1029–1038. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.10.019>
- Baptista, J. M., Almeida, M. D. C., Silva, A. C. M., Ribeiro, R., Fernando, R. M., Serafim, A., Alves,

- I., & Cameira, M. R. (2001). Programa Nacional para o Uso Eficiente da água. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 201.
- Barel-Cohen, K., Shore, L. S., Shemesh, M., Wenzel, A., Mueller, J., & Kronfeld-Schor, N. (2006). Monitoring of natural and synthetic hormones in a polluted river. *Journal of Environmental Management*, 78(1), 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.04.006>
- Berglund, B., Dienus, O., Sokolova, E., Berglind, E., Matussek, A., Pettersson, T., & Lindgren, P. E. (2017). Occurrence and removal efficiency of parasitic protozoa in Swedish wastewater treatment plants. *Science of the Total Environment*, 598, 821–827. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.015>
- Bhandari, V. M., Sorokhaibam, L. G., & Ranade, V. V. (2016). Industrial wastewater treatment for fertilizer industry—A case study. *Desalination and Water Treatment*, 57(57), 27934–27944. <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1186399>
- Bhatnagar, A., & Anastopoulos, I. (2017). Adsorptive removal of bisphenol A (BPA) from aqueous solution: A review. *Chemosphere*, 168, 885–902. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.121>
- Bonetta, S., Pignata, C., Lorenzi, E., De Ceglia, M., Meucci, L., Bonetta, S., Gilli, G., & Carraro, E. (2017). Peracetic Acid (PAA) disinfection: Inactivation of microbial indicators and pathogenic bacteria in a municipal wastewater plant. *Water (Switzerland)*, 9(6), 1–10. <https://doi.org/10.3390/w9060427>
- Bos, R., Carr, R., & Keraita, B. (2009). Assessing and mitigating wastewater-related health risks in low-income countries: an introduction. *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-Income Countries*, 29–47. <https://doi.org/10.4324/9781849774666>
- Cantante, H. D. (2016). *Utilização eficiente da água em instalações militares . O edifício de alojamento dos alunos da Academia Militar na Amadora Engenharia Militar*.
- Carré, E., Pérot, J., Jauzein, V., & Lopez-Ferber, M. (2018). Impact of suspended particles on UV disinfection of activated-sludge effluent with the aim of reclamation. *Journal of Water Process Engineering*, 22(December 2017), 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.01.016>
- Carvalho-Santos, C., Monteiro, A. T., Azevedo, J. C., Honrado, J. P., & Nunes, J. P. (2017). Climate Change Impacts on Water Resources and Reservoir Management: Uncertainty and Adaptation for a Mountain Catchment in Northeast Portugal. *Water Resources Management*, 31(11), 3355–3370. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1672-z>
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- Chauhan, R. S., & Singhal, L. (2006). Harmful Effects of Pesticides and Their Control Through Cowpathy. *International Journal of Cow Science*, 2(1), 61–70.
- Chen, C.-W., Chen, C.-F., & Dong, C.-D. (2012). Distribution and Accumulation of Mercury in Sediments of Kaohsiung River Mouth, Taiwan. *APCBEE Procedia*, 1(January), 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.03.025>
- Chen, C., Tsyusko, O. V., McNear, D. H., Judy, J., Lewis, R. W., & Unrine, J. M. (2017). Effects

- of biosolids from a wastewater treatment plant receiving manufactured nanomaterials on *Medicago truncatula* and associated soil microbial communities at low nanomaterial concentrations. *Science of the Total Environment*, 609, 799–806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.188>
- Colucci, M. S., Bork, H., & Topp, E. (2001). Persistence of estrogenic hormones in agricultural soils: I. 17 β -estradiol and estrone. *Journal of Environmental Quality*, 30(6), 2070–2076. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.2070>
- De Gisi, S., Casella, P., Cellamare, C. M., Ferraris, M., Petta, L., & Notarnicola, M. (2017). Wastewater Reuse. In *Encyclopedia of Sustainable Technologies* (Vol. 4, Issue 2008). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10528-7>
- Distefano, T., & Kelly, S. (2017). Are we in deep water? Water scarcity and its limits to economic growth. *Ecological Economics*, 142, 130–147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.019>
- Duan, K., Sun, G., Zhang, Y., Yahya, K., Wang, K., Madden, J. M., Caldwell, P. V., Cohen, E. C., & McNulty, S. G. (2017). Impact of air pollution induced climate change on water availability and ecosystem productivity in the conterminous United States. *Climatic Change*, 140(2), 259–272. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1850-7>
- EEA. (2015). European environment — state and outlook 2015: Assessment of global megatrends. In *European Environment*. <https://doi.org/10.2800/126936>
- Elgallal, M., Fletcher, L., & Evans, B. (2016). Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review. *Agricultural Water Management*, 177, 419–431. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.027>
- ERSAR. (2007). Recomendação IRAR n.º 02/2007
- ERSAR. (2019). Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2019) Volume 1 – Caracterização do setor de águas e resíduos
- Escher, B. I., & Fenner, K. (2011). Recent advances in environmental risk assessment of transformation products. *Environmental Science and Technology*, 45(9), 3835–3847. <https://doi.org/10.1021/es1030799>
- Evgenidou, E. N., Konstantinou, I. K., & Lambropoulou, D. A. (2015). Occurrence and removal of transformation products of PPCPs and illicit drugs in wastewaters: A review. *Science of the Total Environment*, 505, 905–926. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.021>
- FA, (2019). DECLARAÇÃO AMBIENTAL 2018 BASE AÉREA N.º5.
- FA, (2020) RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL 2019.
- Farré, Marinella, Pérez, S., Kantiani, L., & Barceló, D. (2008). Fate and toxicity of emerging pollutants, their metabolites and transformation products in the aquatic environment. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 27(11), 991–1007. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2008.09.010>
- Farré, Marinella, & Gajda-schranz, K. (2009). *Ecotoxicity and analysis of nanomaterials in the aquatic environment*. 81–95. <https://doi.org/10.1007/s00216-008-2458-1>
- Ferreira, S. M. (2009). *Uso eficiente da Água em Instalações Colectivas e Similares - Contributo*

para a caracterização do uso e aumento da eficiência.

- Fogarty, L. R., Haack, S. K., Wolcott, M. J., & Whitman, R. L. (2003). Abundance and characteristics of the recreational water quality indicator bacteria *Escherichia coli* and enterococci in gull faeces. *Journal of Applied Microbiology*, 94(5), 865–878. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01910.x>
- Giwa, A., & Dindi, A. (2017). An investigation of the feasibility of proposed solutions for water sustainability and security in water-stressed environment. *Journal of Cleaner Production*, 165, 721–733. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.120>
- Gómez-López, M. D., Bayo, J., García-Cascales, M. S., & Angosto, J. M. (2009). Decision support in disinfection technologies for treated wastewater reuse. *Journal of Cleaner Production*, 17(16), 1504–1511. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.06.008>
- Goodman, A. M., Ganf, G. G., Dandy, G. C., Maier, H. R., & Gibbs, M. S. (2010). The response of freshwater plants to salinity pulses. *Aquatic Botany*, 93(2), 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2010.03.004>
- Google Maps. (2019). Base aérea N5- Google Maps. Obtido 10 de Janeiro de 2019, de <https://www.google.pt/maps/place/Base+a%C3%A9rea+N5/@39.8325136,-8.8820376,15.19z/data=!4m5!3m4!1s0xd2213a4d5649f4f:0x78c16dcc1e53b1bd!8m2!3d39.8331148!4d-8.8812849>
- Gupta, N., Khan, D. K., & Santra, S. C. (2008). An assessment of heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater-irrigated areas of Titagarh, West Bengal, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80(2), 115–118. <https://doi.org/10.1007/s00128-007-9327-z>
- Harada, M. (1995). Harada1995. *Critical Reviews in Toxicology*, 25(1), 1–24. <https://doi.org/10.3109/10408449509089885>
- Helbling, D. E., Hollender, J., Kohler, H. P. E., Singer, H., & Fenner, K. (2010). High-throughput identification of microbial transformation products of organic micropollutants. *Environmental Science and Technology*, 44(17), 6621–6627. <https://doi.org/10.1021/es100970m>
- Helena Marecos; António Albuquerque. (2010) Reutilização de Águas Residuais. (Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos & Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Eds.). Lisboa.
- Heuer-Jungemann, A., Feliu, N., Bakaimi, I., Hamaly, M., Alkilany, A., Chakraborty, I., Masood, A., Casula, M. F., Kostopoulou, A., Oh, E., Susumu, K., Stewart, M. H., Medintz, I. L., Stratakis, E., Parak, W. J., & Kanaras, A. G. (2019). The role of ligands in the chemical synthesis and applications of inorganic nanoparticles [Review-article]. *Chemical Reviews*, 119(8), 4819–4880. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00733>
- Hotez, P. J., Pearce, E. J., Jacobson, J., Hotez, P. J., Brindley, P. J., Bethony, J. M., King, C. H., Pearce, E. J., & Jacobson, J. (2008). Helminth infections: the great neglected tropical diseases Find the latest version : Review series Helminth infections: the great neglected tropical diseases. *The Journal of Clinical Investigation*, 118(4), 1311–1321. <https://doi.org/10.1172/JCI34261.tion>

- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68, 167–182. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>
- Jennifer, A., Abdallah, M. A., & Harrad, S. (2017). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants*, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.12.004>
- Jiménez, B. (2006). (PDF) *International Review for Environmental Strategies Irrigation in Developing Countries Using Wastewater*. May. https://www.researchgate.net/publication/230809051_International_Review_for_Environmental_Strategies_Irrigation_in_Developing_Countries_Using_Wastewater
- Khan, A. H., Ghosh, S., Pradhan, B., Dalui, A., Shrestha, L. K., Acharya, S., & Ariga, K. (2017). Two-dimensional (2D) nanomaterials towards electrochemical nanoarchitectonics in energy-related applications. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 90(6), 627–648. <https://doi.org/10.1246/bcsj.20170043>
- Khot, L. R., Sankaran, S., Maja, J. M., Ehsani, R., & Schuster, E. W. (2012). Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review. *Crop Protection*, 35, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.01.007>
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575, 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>
- Kitajima, M., Iker, B. C., Pepper, I. L., & Gerba, C. P. (2014). Relative abundance and treatment reduction of viruses during wastewater treatment processes - Identification of potential viral indicators. *Science of the Total Environment*, 488–489(1), 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.087>
- L., S., & M., S. (2004). Towards sustainability in water recycling. *Water Science and Technology*, 50(2), 1–8. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-4444370537&partnerID=40&md5=5ec97cab062b8f73416a9bd0f37e497e>
- Lavrnić, S., Zapater-Pereyra, M., & Mancini, M. L. (2017). Water Scarcity and Wastewater Reuse Standards in Southern Europe: Focus on Agriculture. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3425-2>
- Louie, S. M., Ma, R., & Lowry, G. V. (2014). Transformations of Nanomaterials in the Environment. *Frontiers of Nanoscience*, 7, 55–87. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099408-6.00002-5>
- Lu, S., Bai, X., Li, W., & Wang, N. (2019). Impacts of climate change on water resources and grain production. *Technological Forecasting and Social Change*, 143(July 2018), 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.015>
- MAMAOT. (2012). Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água. Lisboa. Obtido de https://apambiente.pt/_zdata/CONSULTA_PUBLICA/2012/PNUEA/Implementacao-PNUEA_2012-2020_JUNHO.pdf

- Mao, Y., Wang, X., Yang, H., Wang, H., & Xie, Y. F. (2014). Effects of ozonation on disinfection byproduct formation and speciation during subsequent chlorination. *Chemosphere*, 117(1), 515–520. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.08.083>
- MAOT. (2015). Uma nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais - Volume 1. PENSAAR 2020. Lisboa. Obtido de https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/Agua/PlaneamentoeGestao/PENSAAR2020/PENSAAR2020_Relatorio_Vol1.pdf
- Mapanda, F., Mangwayana, E. N., Nyamangara, J., & Giller, K. E. (2005). The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107(2–3), 151–165. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.11.005>
- Margni, M., Rossier, D., Crettaz, P., & Jolliet, O. (2002). Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93(1–3), 379–392. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00336-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00336-X)
- Maryam, B., & Büyükgüngör, H. (2019). Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: Opportunities and challenges. *Journal of Water Process Engineering*, 30(November 2016), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.10.001>
- McFadden, M., Loconsole, J., Schockling, A. J., Nerenberg, R., & Pavissich, J. P. (2017). Comparing peracetic acid and hypochlorite for disinfection of combined sewer overflows: Effects of suspended-solids and pH. *Science of the Total Environment*, 599–600, 533–539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.179>
- Meador, J. P., Yeh, A., Young, G., & Gallagher, E. P. (2016). Contaminants of emerging concern in a large temperate estuary *. *Environmental Pollution*, 213, 254–267. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.088>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2), 1–7. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- Meng, Z., Chen, W., & Mulchandani, A. (2005). Removal of estrogenic pollutants from contaminated water using molecularly imprinted polymers. *Environmental Science and Technology*, 39(22), 8958–8962. <https://doi.org/10.1021/es0505292>
- Mortimer, M., & Holden, P. A. (2019). Chapter 3 - Fate of engineered nanomaterials in natural environments and impacts on ecosystems. In *Exposure to Engineered Nanomaterials in the Environment*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814835-8.00003-0>
- Nasuhoglu, D., Isazadeh, S., Westlund, P., Neamatallah, S., & Yargeau, V. (2018). Chemical, microbial and toxicological assessment of wastewater treatment plant effluents during disinfection by ozonation. *Chemical Engineering Journal*, 346, 466–476. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.037>
- National Research Council 2012. Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater. (2012). <https://doi.org/10.17226/13303>
- Odonkor, S. T., & Ampofo, J. K. (2013). Escherichia coli as an indicator of bacteriological quality of water: an overview. *Microbiology Research*, 4(1), 2. <https://doi.org/10.4081/mr.2013.e2>

- PENSAAR 2020. (2015). Uma nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais - Vol I. *Pensaar 2020*, 1, 1–101. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pintilie, L., Torres, C. M., Teodosiu, C., & Castells, F. (2016). Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study. *Journal of Cleaner Production*, 139, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.209>
- Pinto Da Costa, P., Doutora, P., Fonseca, A., Major De Engenharia, G., Jorge, A., Caracho, E., Presidente, J., António, D., Trigo, A., Orientador, T., Vogais, G., Professora, :, Filipa, D., & Ferreira, M. S. (2016). *Potencial de reutilização de água em instalações militares. O Caso de estudo da Academia Militar na Amadora. Engenharia Militar*. [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407770020545425/Dissertacao_Pedro Costa.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407770020545425/Dissertacao_Pedro%20Costa.pdf)
- Ponce-robles, L., Masdemont-hern, B., & Munuera-p, T. (2020). *water WWTP E ffl uent Quality Improvement for Agricultural Reuse Using an Autonomous Prototype*.
- PO SEUR. (2019). Sobre o Programa. Obtido 24 Novembro de 2019, de <https://poseur.portugal2020.pt/pt/po-seur/sobre-o-programa/>
- Ramesh, K. T. (2009). Nanomaterials: Mechanics and mechanisms. *Nanomaterials: Mechanics and Mechanisms*, 1–316. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09783-1>
- Ramos, R. J. S. C. e. (2017). *IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE APOIO À GESTÃO DE PERDAS DE ÁGUA NAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DAS BASES AÉREAS CAP / ENGAED Rui João Santos Campos e Ramos Trabalho de Investigação Individual do CPOSA 2016 / 17*.
- RGSPDADAR. (1995). Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais.
- Roccaro, P. (2018). Treatment processes for municipal wastewater reclamation: The challenges of emerging contaminants and direct potable reuse. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 2, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.02.003>
- Saharan, V. K., Pinjari, D. V., Gogate, P. R., & Pandit, A. B. (2014). Advanced Oxidation Technologies for Wastewater Treatment: An Overview. In *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099968-5.00003-9>
- Sarah K. Dickin, Corinne J. Schuster-Wallace, Manzoor Qadir, and K. P. (2016). Health risks and pathways of wastewater exposure. *Environ Health Perspect* 124:900–909;, 124(7), 900–909. <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/124/7/ehp.1509995.alt.pdf>
- Seviour, R. J., Mino, T., & Onuki, M. (2003). The microbiology of biological phosphorus removal in activated sludge systems. *FEMS Microbiology Reviews*, 27(1), 99–127. [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(03\)00021-4](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(03)00021-4)
- Snyder, S. A., Vanderford, B. J., & Rosario-Ortiz, F. L. (2009). Iodate and Perchlorate in Bottled Water: Methods for Discovery and Impact on Humans. In *Comprehensive Handbook of Iodine*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374135-6.00030-3>
- Suresh, A. K., Pelletier, D. A., & Doktycz, M. J. (2013). Relating nanomaterials and microbial

- toxicity. *Nanoscale*, 5(2), 463–474.
- Tan, T. C., Azimi, Y., & Farnood, R. R. (2017). Tailing propensity in the ultraviolet disinfection of trickling filter and activated sludgewastewater treatment processes. *Water Science and Technology*, 76(3), 623–632. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.242>
- Tanji, K., Grattan, S., Grieve, C., Harivandi, A., Rollins, L., Shaw, D., Sheikh, B., & Wu, L. (2007). Salt Management Guide for Landscape Irrigation with Recycled Water in Coastal Southern California: A Comprehensive Literature Review. *Citeseer*, 322. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.396.7875&rep=rep1&type=pdf%0Ahttp://www.salinitymanagement.org/Literature_Review.pdf
- Tian, C., Liu, R., Liu, H., & Qu, J. (2013). Disinfection by-products formation and precursors transformation during chlorination and chloramination of highly-polluted source water: Significance of ammonia. *Water Research*, 47(15), 5901–5910. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.013>
- Ting, D., & Steinmaus, C. (2011). Perchlorate: Human Toxicity. *Encyclopedia of Environmental Health*, 364–370. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52272-6.00583-3>
- Todd, E. (2002). Perchlorate as an Environmental Contaminant. *Environmental Science and Pollution Research*, 9(3), 187–192.
- United Nations Water. (2003). *Coping With Water Scarcity: the Issue*. 48(3), 317–337. <https://doi.org/10.1029/2001 WR000355>; Döll, P., Kaspar, F., Alcamo, J., Computation of global water availability and water use at the scale of large drainage basins (1999) *Math. Geol.*, 4, pp. 115-122; Döll, P., Kaspar, F., Lehner, B., A global hydrological m(TRUNCADO)
- Vandenberg, L. N., Hauser, R., Marcus, M., Olea, N., & Welshons, W. V. (2007). Human exposure to bisphenol A (BPA). *Reproductive Toxicology*, 24(2), 139–177. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2007.07.010>
- Vandermeersch, G., Lourenço, H. M., Alvarez-Muñoz, D., Cunha, S., Diogène, J., Cano-Sancho, G., Sloth, J. J., Kwadijk, C., Barcelo, D., Allegaert, W., Bekaert, K., Fernandes, J. O., Marques, A., & Robbens, J. (2015). Environmental contaminants of emerging concern in seafood - European database on contaminant levels. *Environmental Research*, 143, 29–45. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.06.011>
- VisitarPortugal. (2019). Leiria (Distrito)- VisitarPortugal. Obtido 10 de Janeiro de 2019, de <https://www.visitarportugal.pt/images/mapas/10.gif>
- Von Gunten, U., & Oliveras, Y. (1998). Advanced oxidation of bromide-containing waters: Bromate formation mechanisms. *Environmental Science and Technology*, 32(1), 63–70. <https://doi.org/10.1021/es970477j>
- Wang, J., & Wang, S. (2016). Removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from wastewater: A review. *Journal of Environmental Management*, 182, 620–640. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.049>
- Westcot, D. W. (1997). Quality control of wastewater for irrigated crop production (Water reports-10). In *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy*.
- WOK, G. (1996). Waterborne diseases: Update on water quality assessment and control. *Water*

- SA, 22(2), 193–202. https://journals.co.za/content/waters/22/2/AJA03784738_1884
- Wu, J., Zhu, G., & Yu, R. (2018). Fates and Impacts of Nanomaterial Contaminants in Biological Wastewater Treatment System: a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(1). <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3656-2>
- Yang, Y., Sik, Y., Kim, K., Kwon, E. E., & Fai, Y. (2017). Science of the Total Environment Occurrences and removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in drinking water and water / sewage treatment plants : A review. *Science of the Total Environment*, 596–597, 303–320. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.102>
- Zhang, C., Brown, P. J. B., Miles, R. J., White, T. A., Grant, D. A. G., Stalla, D., & Hu, Z. (2019). Inhibition of regrowth of planktonic and biofilm bacteria after peracetic acid disinfection. *Water Research*, 149, 640–649. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.062>
- Zhang, W., Ke, S., Sun, C., Xu, X., Chen, J., & Yao, L. (2019). Fate and toxicity of silver nanoparticles in freshwater from laboratory to realistic environments: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(8), 7390–7404. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04150-0>
- Zheng, H., Ou, J. Z., Strano, M. S., Kaner, R. B., Mitchell, A., & Kalantar-Zadeh, K. (2011). Nanostructured tungsten oxide - Properties, synthesis, and applications. *Advanced Functional Materials*, 21(12), 2175–2196. <https://doi.org/10.1002/adfm.201002477>
- Zheng, Q., Yang, X., Deng, W., Le, X. C., & Li, X. F. (2016). Characterization of natural organic matter in water for optimizing water treatment and minimizing disinfection by-product formation. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 42, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.03.005>

Anexos

Anexo A

Tabela A6.1 - Processos de tratamento terciário e respetivas características e atributos (adaptado de Roccaro, 2018)

Processos	Remoção de nutrientes	Remoção SST	Remoção de SDT	Remoção de patogénicos	Remoção de metais	Remoção de Contaminantes emergentes	Residuais e/ou subprodutos	Habilidade requerida ao operador	Complexidade Tecnológica Relativa	Maturidade Tecnológica	Custo (capital + O&M)
Remoção N e P biológica	Alto (N, P)	Médio	Não/ Insignificante	Baixo	Não/ Insignificante	Não/ Insignificante	Lamas	Baixo	Baixo	Alto	Médio
Precipitação P	Alto (P)	Médio/ Alto	Não/ Insignificante	Baixo	Alto	Não/ Insignificante	Lamas	Baixo	Baixo	Alto	Médio
MBR	Baixo/Alto	Alto	Não/ Insignificante	Médio	Não/ Insignificante	Baixo	Lamas	Baixo	Baixo/Médio	Médio/Alto	Médio/ Alto
Filtração média granular	Baixo	Alto	Não/ Insignificante	Baixo/ Médio	Não/ Insignificante	Não/ Insignificante	Água de lavagem	Baixo	Baixo	Alto	Baixo
Coagulação	Baixo	Alto	Não/ Insignificante	Baixo/ Médio	Alto	Não/ Insignificante	Água de lavagem e Lamas	Baixo	Baixo	Alto	Baixo
Adsorção CAG/CAP	Baixo	Baixo/ Médio	Não/ Insignificante	Baixo	Baixo/Médio	Baixo/Alto	CAG/CAP depletado	Baixo	Baixo	Alto	Médio
O ₃ /BAC	Baixo/ Médio	Médio	Não/ Insignificante	Baixo/ Médio	Não/ Insignificante	Baixo/Alto	Subprodutos limitados devido a BAC	Baixo/Médio	Médio	Baixo/Médio	Médio/ Alto
MF/UF	Baixo	Alto	Não/ Insignificante	Médio	Não/ Insignificante	Não/ Insignificante	Água de lavagem de filtros	Baixo	Baixo	Alto	Baixo
NF/OI	Alto (N, P)	Baixo	Alto	Alto/ Médio	Alto	Alto	Concentrado	Baixo/Médio	Médio	Alto	Alto
Cloragem	Baixo	Não/ Insignificante	Não/ Insignificante	Alto/ Médio	Não/ Insignificante	Baixo/Médio	Subprodutos (ex. THM, HAA)	Baixo	Baixo	Alto	Baixo
Desinfecção UV	Não/ Insignificante	Não/ Insignificante	Não/ Insignificante	Alto	Não/ Insignificante	Baixo	Não/ Insignificante	Médio	Baixo	Alto	Baixo
Ozonização	Insignificante	Baixo/Médio	Não/ Insignificante	Alto/Médio	Não/ Insignificante	Alto	Bromato	Baixo/Médio	Médio	Alto	Médio
UV/H ₂ O ₂	Não/ Insignificante	Não/ Insignificante	Não/ Insignificante	Alto	Não/ Insignificante	Alto	Contaminantes emergentes	Baixo/Médio	Médio	Alto	Médio

Tratamento através de Recarga de aquíferos	Baixo	Médio	Baixo	Baixo/Médio	Baixo/Médio	Baixo/Médio	Não/ Insignificante	Baixo	Baixo	Médio	Baixo
Leito de macrófitas	Não	Médio	Não/ Insignificante	Baixo/Médio	Baixo/Médio	Baixo/Médio	Biomassa	Baixo	Baixo	Médio	Baixo

Anexo B

Tabela A6.2 – Diâmetros nominais escolhidos e respectivas espessuras e custos

Troço 1						
DN (mm)	Espessura (mm)			Custos (€/m)		
(PEAD)	PN6	PN10	PN16	PN6	PN10	PN16
63	2,3	3,8	5,8	12	12	13
75	2,7	4,5	6,8	12	13	15
90	3,3	5,4	8,2	14	15	18
110	4	6,6	10	16	18	21
125	4,5	7,4	11,4	17	20	26
140	5,1	8,3	12,7	19	22	30
160	5,8	9,5	14,6	22	26	36
180	7,5	10,7	16,4	24	30	43
200	7,2	11,9	18,2	28	35	51
225	8,1	13,4	20,5	33	42	65
250	9	14,8	22,7	38	49	77
280	10,1	16,6	25,4	44	58	94
315	11,4	18,7	28,6	53	71	115
355	12,8	21,1	32,2	63	87	143
400	14,5	23,7	36,3	77	106	178
450	16,3	26,7	40,9	99	138	221
500	18,1	29,7	45,4	121	169	273
560	20,2	33,2	50,8	147	208	338
630	21,7	35,6	54,5	181	259	424

Informações complementares às estimativas do Sistema de distribuição:

- $C_{cc} = 42\,000 + 350 \times Q + 0,17 \times Q \times H$
- $C_{eq} = 2400 \times Q^{0,80} \times H^{0,20} + 2092 \times (Q \times H)^{0,52}$

Em que Q representa o caudal de dimensionamento (L/s) e H a altura de elevação necessária (m)

Para a realização das estimativas de custos consideram-se:

- Taxa de atualização de 1%
- Taxa de operação de 0.5%
- Taxa de atualização de 2%
- Preço energético de 0.15€/kWh

Tabela A6.3 – Estimativa de custos do sistema de distribuição considerando PEAD 63

Anos	Volume (m³)	Energia (kWh)	Custos (€)						
			Energia	Instalação bombas	Construção Civil	Operação e Manutenção	Custo Tubagens	Custo Total	Custo Total Atualizado
0	12 053	2 300	460	37 566	42 944	23	8 160	89 154	89 154
1	12 053	2 300	460			23		483	473
2	12 053	2 300	460			23		483	464
3	12 053	2 300	460			23		483	455
4	12 053	2 300	460			23		483	446
5	12 053	2 300	460			23		483	437
Total	72 317	13 799	2 760	37 566	42 944	138	8 160	91 568	91 430

Tabela A6.4 - Estimativa de custos do sistema de distribuição considerando PEAD 75

Anos	Volume (m³)	Energia (kWh)	Custos (€)						
			Energia	Instalação bombas	Construção Civil	Operação e Manutenção	Custo Tubagens	Custo Total	Custo Total Atualizado
0	12 053	1 980	396	39 409	43 129	20	8 840	91 794	91 794
1	12 053	1 980	396			20		416	408
2	12 053	1 980	396			20		416	400
3	12 053	1 980	396			20		416	392
4	12 053	1 980	396			20		416	384
5	12 053	1 980	396			20		416	377
Total	72 317	11 880	2 376	39 409	43 129	119	8 840	93 873	93 53

Anexo C

Tabela A6.5 – Estimativas de custos associados ao projeto de reutilização na Base Aérea N.º5

Ano	Volume Distribuído (m³)	Custos Associado (€)			
		Investimento	Operação e Manutenção	Água proveniente dos furos	Custo Final
0	12 053	130 511	0	0	130 511
1	12 053		494	1 085	-591
2	12 053		494	1 085	-591
3	12 053		494	1 085	-591
4	12 053		494	1 085	-591
5	12 053		494	1 085	-591
Total	72 317	130 511	2 471	5 424	127 727

Informações complementares às estimativas do projeto a implementar:

- Construção civil, aquisição de equipamentos do tratamento terciário avaliadas em 50 000€.
- Taxa de atualização de 1%
- Taxa de operação de 0.5%
- Taxa de atualização de 2%
- Preço energético de 0.15€/kWh
- Consumo energético associado, ao tratamento terciário de 0,00274 kWh/m³ para filtração rápida; 6,60€/ano
- Consumo energético associado, ao tratamento terciário de 0,012 kWh/m³ para desinfecção; 28,93 €/ano.
- Para uma dose de 5 mg/L, 0,127 €/kg; 62,59€/ano.