



Margarida Soares Lourenço

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

Estudo do Potencial de Reutilização de Água no Município de Arruda dos Vinhos

Caso de estudo: ETAR de Arruda dos Vinhos

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

Orientador: Prof. Doutora Leonor Amaral
(Prof. Auxiliar FCT-UNL)

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Pedro Macedo Coimbra Mano
Arguente(s): Prof. Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa
Vogal Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Outubro, 2018



Margarida Soares Lourenço

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

Estudo do Potencial de Reutilização de Água no Município de Arruda dos Vinhos

Caso de estudo: ETAR de Arruda dos Vinhos

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

Orientador: Prof. Doutora Leonor Amaral
(Prof. Auxiliar FCT-UNL)

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Pedro Macedo Coimbra Mano
Arguente(s): Prof. Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa
Vogal Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Outubro, 2018

AGRADECIMENTOS

Dizer obrigada, às vezes, não é suficiente para agradecer a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para o alcançar desta etapa. A reciprocidade, a partilha de conhecimentos e de experiências, assim como, a notória dedicação e o suporte emocional foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Deixo uma palavra de enorme gratidão à minha orientadora, a Professora Doutora Leonor Amaral, pelo interesse e entusiasmo presentes, mesmo em momentos profissionais exaustivos, e pelo apoio prestado. Gratifico, também, o sentido de autonomia que me proporcionou, assim como a confiança e liberdade dadas.

Agradeço às Águas do Tejo Atlântico, na pessoa do Eng.º Pedro Póvoa, da Eng.ª Rita Alves e, também, na pessoa do Eng.º Vítor Neves, pelo desafio proposto e apoio, assim como pela oportunidade facilitada para desenvolver o tema fascinante da reutilização da água.

Quero redigir um profundo apreço à Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos, nomeadamente ao Exmo. Sr. Presidente André Rijo, à Exma. Vice-Presidente Rute Miriam, à Exma. Vereadora Anabela Lapas e ao Eng.º Nuno Ramos, pela amabilidade e pela obtenção de elementos de suporte fundamentais à realização desta dissertação.

Manifesto o meu sincero reconhecimento ao Professor Doutor Rui Santos, pela simpatia no auxílio e esclarecimento de dúvidas relativas à análise económica do projeto de reutilização efetuada no presente trabalho.

Um gigante obrigada ao meu colega e amigo José Ricardo Ribeiro, pelo suporte e pelo *brainstorming* diário.

Agradeço a todos os meus professores, colegas e amigos, que tiveram um papel importante no meu percurso académico e na minha formação pessoal.

Por fim, de coração cheio, expresso o meu sincero obrigado à minha família, particularmente aos meus pais e ao João, pelo suporte e paciência.

RESUMO

No século XXI iniciou-se uma nova era na gestão da água, na qual os fluxos de água residual são geridos num contexto mais amplo da gestão dos recursos hídricos, mudança essa de paradigma que possibilitou intervir no ciclo urbano da água.

A água residual surge como um recurso de água, nutrientes, energia e outros produtos, que submetida a tratamento adequado permite produzir água de elevada qualidade e, conseqüentemente, torná-la num recurso capaz de responder aos desafios da crescente urbanização e da escassez hídrica; potenciar o equilíbrio do nexus água-energia; proteger o ambiente e constituir um recurso apto para satisfazer as necessidades hídricas de diversas atividades.

Acresce o facto de o contributo deste recurso para a sustentabilidade económica ser indissociável da transição para uma economia circular, com os centros urbanos a evoluir de consumidores de bens e serviços e de produtores de resíduos, para cidades resilientes, que produzem a sua própria energia renovável e armazenam os seus próprios recursos internos, a par com a evolução para *smart sustainable cities*, nas quais, as ETAR se constituem como um importante nexus das mesmas.

A reutilização de água é uma opção *win-win*, cujos riscos sanitários e ambientais são sujeitos a medidas preventivas de controlo e monitorização, possibilitando a partilha de experiências de reutilização de água bem-sucedidas, que promovem uma melhor aceitação e perceção pública.

Neste contexto, o estudo do potencial de reutilização de água, no Município de Arruda dos Vinhos, surge como uma oportunidade de afirmar a resiliência deste centro urbano às alterações climáticas, com benefícios socioeconómicos. A avaliação de diversos cenários tecnológicos, por forma a responder às necessidades de água e à exigência da qualidade requerida, permitiu obter soluções economicamente viáveis e interessantes face à água de abastecimento, promovendo uma pegada hídrica menor, com um maior uso eficiente de água.

Palavras-chave: reutilização de água; qualidade da água; tecnologias de filtração; tecnologias de desinfecção;

ABSTRACT

A new era in the management of water started in the twenty-first century. This change in the paradigm enabled the intervention in the urban water cycle in which the management of the flow of the residual water is controlled in a much wider context than the management of the water resources.

The wastewater appears as a resource of water, nutrients, energy and other products. When submitted to adequate treatment it allows us to produce high quality water and, consequently, it becomes a resource which can respond to all the challenges of a growing urban metropolis and of the lack of water. It can boost the balance of the water-energy nexus, protect the environment and build an apt resource to satisfy the water needs of different activities.

Add the fact that the contribution of this resource to a sustainable economy is inseparable from a transition to a circular economy. As urban centres are evolving from goods and services consumers and producers of waste to resilient cities which produce their own renewable energy and store their internal resources and even to smart sustainable cities which, slowly, implement the water treatment plants as an important nexus within the same system.

The reusing of water is a win-win option. The sanitary and environmental risks are subject to both control and monitoring preventative measures enabling the sharing of the experience of successful water reuse which in turn will promote more acceptance and a better perception by the public.

In this context, the study of the potential of the reuse of water in the Arruda dos Vinhos municipality appears as an opportunity to prove the resilience of this urban communities towards climatic changes with socioeconomic benefits. The evaluation of different technological scenarios for the way in which it responds to the water needs and the demand for high quality would allow for economically viable solutions and interests in view of the potable water, promoting a lesser hydric footprint with a more efficient use of water.

Key words: water reuse, quality of water, filtration technologies, disinfection technologies

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Objetivos	3
1.2.	Estrutura	3
1.3.	Terminologia da Dissertação	4
2.	VIABILIDADE DE UM PROJETO DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA	5
2.1.	Motivação para Reutilizar Água.....	5
2.2.	Principais Aplicações de Água Residual Tratada.....	6
2.3.	Qualidade da Água vs. Riscos Sanitários e Ambientais	8
2.4.	Linhas de Orientação para Reutilizar Água.....	18
2.4.1.	Políticas de Planeamento Nacional da Água	18
2.4.2.	Instrumentos de Planeamento Nacional da Água	21
2.4.3.	Instrumentos de Controlo Ambiental a Nível Internacional	29
2.5.	Requisitos de Qualidade, Monitorização e Segurança na Reutilização de Água	30
2.6.	Sustentabilidade Ambiental vs. Economia Circular	37
2.7.	Perceção e Aceitação Pública nos Projetos de Reutilização de Água	38
3.	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO PARA PROTEÇÃO DA SAÚDE PÚBLICA E DO AMBIENTE	41
3.1.	Tecnologias de Tratamento.....	42
3.2.	Sistemas de Apoio à Decisão.....	50
3.3.	Sistemas de Avaliação e Gestão de Riscos.....	52
4.	EXPERIÊNCIAS A NÍVEL GLOBAL	55
5.	CASO DE ESTUDO	61
5.1.	Objetivo.....	61
5.2.	Metodologia	61
5.3.	Município de Arruda dos Vinhos	62
5.4.	Potenciais Utilizadores de Água Residual Tratada	63
5.4.1.	Inquérito potenciais utilizadores de água residual tratada	67
5.5.	ETAR de Arruda dos Vinhos	71
5.5.1.	Água Residual Tratada Produzida na ETAR de Arruda dos Vinhos	72
5.6.	Projeto de Reutilização de Água na ETAR de Arruda dos Vinhos.....	73
5.6.1.	Limitações.....	73
5.6.2.	Soluções de Tratamento	79

5.6.3.	Soluções de Distribuição – Armazenamento, Elevação e Transporte	82
5.6.4.	Estudo Técnico-Económico e Ambiental relativo ao Projeto de Reutilização de Água	83
6.	CONCLUSÕES	91
7.	PROPOSTAS FUTURAS.....	95
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
9.	ANEXOS	118
9.1.	Anexo A	118
9.2.	Anexo B	119
9.3.	Anexo C	120
9.4.	Anexo D.....	121
9.5.	Anexo E	124
9.6.	Anexo F	126
9.7.	Anexo G.....	130

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Potenciais aplicações de água residual tratada.....	7
Tabela 2.2 - Bactérias comumente veiculadas pela água e doenças associadas	9
Tabela 2.3 - Protozoários comumente veiculados pela água e doenças associadas	9
Tabela 2.4 - Helminthas comumente veiculadas pela água e doenças associadas	10
Tabela 2.5 - Vírus comumente veiculados pela água e doenças associadas	11
Tabela 2.6 - Contributo dos principais instrumentos legislativos para a reutilização de água em Portugal	22
Tabela 2.7 - Parâmetros relativos à qualidade das águas destinadas para rega.....	23
Tabela 2.8 - Métodos, processos e tipos de rega associados ao declive máximo e à profundidade do nível freático	24
Tabela 2.9 - Valores máximos admissíveis para concentrações de metais pesados nos solos a regar com água residual urbana tratada (mg/kg solo seco).....	24
Tabela 2.10 - Distância mínima entre o limite da zona regada e zonas com ocupação humana	25
Tabela 2.11 - Classificação das culturas suscetíveis de utilização.....	25
Tabela 2.12 – Classes de culturas suscetíveis de utilização em função dos parâmetros de qualidade microbiológica da água a reutilizar e da linha de tratamento adequada a implantar	26
Tabela 2.13 - Valores máximos admissíveis para as quantidades de metais pesados, que podem ser introduzidos nos solos cultivados.....	27
Tabela 2.14 - Informação relativa aos principais capítulos da Recomendação n.º 2 do IRAR.....	27
Tabela 2.15 - Requisitos de tratamento, qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada em usos urbanos	30
Tabela 2.16 - Requisitos de tratamento, qualidade e monitorização para a aplicação de água residual tratada em uso agrícola.....	31
Tabela 2.17 - Requisitos de tratamento, qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada em uso agrícola	32
Tabela 2.18 - Requisitos de qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada em uso agrícola.....	32
Tabela 2.19 - Requisitos de tratamento e qualidade para a aplicação de água residual tratada em uso agrícola.....	33
Tabela 2.20 - Requisitos de tratamento, qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada em uso recreativo	33
Tabela 2.21 - Requisitos de tratamento, qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada em usos industriais.....	34
Tabela 2.22 - Requisitos de tratamento, qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada na recarga de aquíferos	35
Tabela 2.23 - Tipos de combinação de processos de tratamento	35
Tabela 3.1 - Tipos de filtração e principais características	44
Tabela 3.2 - Vantagens e desvantagens de processos de desinfecção	47
Tabela 3.3 - Principais processos de tratamento terciário utilizados para reutilização de água	49
Tabela 3.4 - Tipos de reutilização adequada para diferentes níveis de tratamento, de utilização final, de exposição humana e de custo.....	50

Tabela 3.5 - Aspetos a considerar num SAD para o tratamento de água residual, com a finalidade de reutilizar água	51
Tabela 3.6 - Exemplos de pontos críticos e respetivos perigos, estratégias de monitorização e de medidas preventivas.....	53
Tabela 5.1 - Desagregação dos consumos de água potável no Município de Arruda dos Vinhos	64
Tabela 5.2 - Desagregação do consumo de água potável da Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos	64
Tabela 5.3 - Resultados obtidos da integração das atividades económicas na utilização de água residual tratada.....	75
Tabela 5.4 - Condições finais de descarga da ETAR de Arruda dos Vinhos	76
Tabela 5.5 - Características dos troços do sistema de distribuição.....	82
Tabela 5.6 - Resultados do estudo técnico-económico do sistema de distribuição entre a ETAR e o Parque das Rotas	83
Tabela 5.7 - Funções de custo das tecnologias selecionadas para o projeto de reutilização de água	84
Tabela 5.8 - Contributo percentual dos custos relativos à implantação efetiva do tratamento terciário, para as funções de custo	84
Tabela 5.9 - Resultados obtidos para a tarifa da água apta a reutilizar, atendendo ao custo do ciclo de vida do projeto	86
Tabela 5.10 – Matriz de situações coincidentes entre o custo do ciclo de vida do projeto mínimo e mínimo máximo dos possíveis cenários de combinação de tecnologias.....	86
Tabela 5.11 - Tarifário da água de abastecimento aplicado ao Município de Arruda dos Vinhos e tarifas previstas para a água apta a reutilizar	88
Tabela 5.12 - Emissões anuais de dióxido de carbono previstas para cada tecnologia	88
Tabela 5.13 - Emissões anuais de CO ₂ previstas para os cenários C1, C2 e C3	89
Tabela 7.1 - Propostas futuras para a otimização do projeto de reutilização	95
Tabela 9.1 Objetivos Operacionais do PENSAAR 2020	118
Tabela 9.2 - Constituintes residuais tipicamente presentes no efluente secundário	119
Tabela 9.3 - Remoção dos principais constituintes da água residual tratada por diversas tecnologias de tratamento.....	120
Tabela 9.4 - Informação relativa aos diâmetros nominais dos troços do sistema de distribuição.....	124
Tabela 9.5 - Resultados do estudo técnico-económico do sistema de distribuição	125
Tabela 9.6 – Disposições construtivas da filtração rápida em areia	126
Tabela 9.7 – Dados relativos à lavagem do meio filtrante	126
Tabela 9.8 - Disposições construtivas da microfiltração	127
Tabela 9.9 - Disposições construtivas da ultrafiltração	127
Tabela 9.10 - Disposições construtivas da desinfecção com radiação ultravioleta.....	128
Tabela 9.11 - Disposições construtivas da desinfecção com ozono	128
Tabela 9.12 - Disposições construtivas da desinfecção com hipoclorito de sódio	129
Tabela 9.13 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.1 – custo mínimo	130
Tabela 9.14 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C0.1 – custo mínimo	130
Tabela 9.15 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.1 – custo máximo	131

Tabela 9.16 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C0.1 – custo máximo	131
Tabela 9.17 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.2 – custo mínimo	132
Tabela 9.18 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C0.2 – custo mínimo	132
Tabela 9.19 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.2 – custo máximo	133
Tabela 9.20 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C0.2 – custo máximo	133
Tabela 9.21 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.3 – custo mínimo	134
Tabela 9.22 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C0.3 – custo mínimo	134
Tabela 9.23 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.3 – custo máximo	135
Tabela 9.24 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C0.3 – custo máximo	135
Tabela 9.25 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.4.....	136
Tabela 9.26 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C0.4.....	136
Tabela 9.27 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.5.....	137
Tabela 9.28 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C0.5.....	137
Tabela 9.29 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.6.....	138
Tabela 9.30 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C0.6.....	138
Tabela 9.31 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.1 – custo mínimo	139
Tabela 9.32 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C1.1 – custo mínimo	139
Tabela 9.33 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.1 – custo máximo	140
Tabela 9.34 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C1.1 – custo máximo	140
Tabela 9.35 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.2 – custo mínimo	141
Tabela 9.36 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C1.2 – custo mínimo	141
Tabela 9.37 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.2 – custo máximo	142
Tabela 9.38 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C1.2 – custo máximo	142
Tabela 9.39 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.3 – custo mínimo	143
Tabela 9.40 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C1.3 – custo mínimo	143
Tabela 9.41 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.3 – custo máximo	144
Tabela 9.42 – Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C1.3 – custo máximo.....	144
Tabela 9.43 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.1 – custo mínimo	145
Tabela 9.44 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C2.1 – custo mínimo	145
Tabela 9.45 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.1 – custo máximo	146
Tabela 9.46 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C2.1 – custo máximo	146

Tabela 9.47 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.2 – custo mínimo	147
Tabela 9.48 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C2.2 – custo mínimo	147
Tabela 9.49 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.2 – custo máximo	148
Tabela 9.50 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C2.2 – custo máximo	148
Tabela 9.51 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.3 – custo mínimo	149
Tabela 9.52 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C2.3 – custo mínimo	149
Tabela 9.53 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.3 – custo máximo	150
Tabela 9.54 – Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C2.3 – custo máximo.....	150
Tabela 9.55 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.1 – custo mínimo	151
Tabela 9.56 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C3.1 – custo mínimo	151
Tabela 9.57 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.1 – custo máximo	152
Tabela 9.58 – Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C3.1 – custo máximo.....	152
Tabela 9.59 Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.2 – custo mínimo	153
Tabela 9.60 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C3.2 – custo mínimo	153
Tabela 9.61 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.2 – custo máximo	154
Tabela 9.62 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C3.2 – custo máximo	154
Tabela 9.63 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.3 – custo mínimo	155
Tabela 9.64 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C3.3 – custo mínimo	155
Tabela 9.65 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.3 – custo máximo	156
Tabela 9.66 - Custo do ciclo de vida por m ³ do cenário C3.3 – custo máximo	156

ÍNDICE FIGURAS

Figura 2.1 - Forças motrizes para reutilizar água.....	6
Figura 2.2 – Potenciais agentes patogénicos e contaminantes químicos presentes na água	8
Figura 2.3 - Combinações mais exigentes para os diferentes usos	36
Figura 2.4 - Valores mais exigentes propostos para o parâmetro coliformes fecais	36
Figura 2.5 - Valores mais exigentes propostos para os parâmetros SST e CBO ₅	36
Figura 2.6 - Recursos e oportunidades do nexus smart sustainable cities – ETAR	38
Figura 3.1 – Linha de tratamento característica de uma ETAR	41
Figura 3.2 - Diagrama SAD para tecnologias de tratamento de água para reutilizar	52
Figura 3.3 - Estrutura de um PPS	54
Figura 4.1 - Reutilização mundial de água, que foi sujeita a tratamento terciário, por tipo de aplicação	55
Figura 5.1 - Localização do Município de Arruda dos Vinhos.....	62
Figura 5.2 - Evolução do número de atividades económicas por tipo, no Município de Arruda dos Vinhos	63
Figura 5.3 - Desagregação do consumo de água da Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos pelos diferentes tipos de utilização	65
Figura 5.4 – Consumo por tipo de atividade económica das empresas identificadas com potencial para reutilizar água	66
Figura 5.5 - Fases do inquérito	67
Figura 5.6 - Respostas à pergunta sobre o conhecimento dos possíveis usos da água residual tratada	68
Figura 5.7 - Respostas à pergunta relativa às maiores vantagens na reutilização de água	69
Figura 5.8 - Respostas à pergunta relativa aos maiores obstáculos na reutilização de água.....	69
Figura 5.9 - Respostas à pergunta relativa ao aspeto mais relevante/crítico na reutilização de água. 70	
Figura 5.10 - Respostas positivas (%) à pergunta relativa sobre o custo da água residual tratada versus o custo da água de abastecimento	71
Figura 5.11 - Localização da ETAR de Arruda dos Vinhos.....	71
Figura 5.12 - Linha de tratamento das fases líquida e sólida da ETAR de Arruda dos Vinhos.....	72
Figura 5.13 - Caudal médio diário mensal afluente à ETAR de Arruda dos Vinhos	73
Figura 5.14 - Desagregação da água residual afluente à ETAR pelo caudal a descarregar e pelo caudal a reutilizar	73
Figura 5.17 - Projeção do caudal a descarregar e a reutilizar sem a integração futura das empresas 74	
Figura 5.18 - Acréscimo de caudal a reutilizar pela integração das empresas	75
Figura 5.19 - Camião-cisterna dedicado à lavagem das ruas de Lisboa	76
Figura 5.20 - Traçado do sistema de drenagem e do sistema adutor	77
Figura 5.21 - Qualidade da água a reutilizar	78
Figura 5.22 – Sinalética, dispositivos e tubagens inerentes ao sistema de reutilização de água	79
Figura 5.23 – Esquema geral relativo ao tratamento, armazenamento e distribuição da água residual tratada.....	79
Figura 5.24 - Cenários possíveis de tratamento para reutilizar água	81
Figura 5.25 - Desenvolvimento do traçado dos sistemas de drenagem e de adução entre a ETAR e o Parque das Rotas.....	82

1. INTRODUÇÃO

No século XX, o consumo mundial de água aumentou duas vezes face à taxa de crescimento da população, ultrapassando o limite sustentável da disponibilidade de água em serviços básicos de múltiplas regiões. O crescimento demográfico e o desenvolvimento económico são considerados os vetores responsáveis pela pressão desregrada colocada nos recursos hídricos renováveis, mas finitos, resultando numa procura de água superior à sua oferta (FAO, 2018).

A crise da qualidade da água é causada pelo aumento da carga poluente nas massas de água, produzida pela crescente urbanização, industrialização e práticas insustentáveis de produção alimentar, sendo imprescindível uma gestão estratégica da água com qualidade inferior e da água residual (Hernández-Sancho et al., 2015).

Paralelamente, a crise da disponibilidade da água atende a problemáticas relacionadas com a escassez e, também, com a gestão, sendo designada como um risco global, cujos impactos são considerados os mais devastadores (Roccaro & Verlicchi, 2018; Voulvoulis, 2018).

Importa referir que o impacto da escassez de água afeta 2 000 milhões de pessoas em todo o mundo (UN-WATER, 2018). Este fenómeno atinge, pelo menos, 11% da população europeia e 17% do território europeu, sendo Portugal um dos países europeus com maior vulnerabilidade aos impactos das alterações climáticas. De facto, o índice de escassez *WEI* (*Water Exploitation Index*) revela que, apesar de Portugal se encontrar numa situação de escassez reduzida, o país apresenta grandes disparidades a nível regional, existindo regiões que sofrem de escassez moderada a severa (e.g. Região Hídrica do Sado e Mira e nas Ribeiras do Oeste) (Comissão Permanente da Seca, 2017; Portal do Relatório de Estado do Ambiente Portugal, 2018).

A intensidade e a propagação dos impactos das alterações climáticas têm contribuído para o desequilíbrio da distribuição dos recursos hídricos e para a afetação dos sistemas biofísicos e de infraestruturas, com implicações na disponibilidade e na qualidade da água (Comissão Permanente da Seca, 2017; Voulvoulis, 2018).

Atualmente, o contexto de adaptação às alterações climáticas é indissociável do ciclo urbano da água (Lisboa E-nova, 2015). Pois, o modo como o ciclo urbano da água tem sido gerido revela a ausência de uma solução ideal e de longo prazo, resultantes de investimento em planeamento, *design* e modelos de operação de natureza linear, em que a água, após extraída de uma fonte, é tratada, usada e transformada em água residual, que posteriormente é sujeita a tratamento, com descarga num meio recetor (World Economic Forum, 2018).

Por conseguinte, torna-se imperativo transitar de um modelo linear para um modelo circular, focado no uso eficiente da água, em que a gestão dos fluxos de água residual deva ser gerida num contexto mais amplo da gestão dos recursos hídricos, refletindo a importância deste recurso, principalmente em situações de escassez hídrica (Hernández-Sancho et al., 2015).

Subjacente aos desafios do ciclo urbano da água, as cidades atendem aos avanços nas tecnologias de informação e comunicação (TIC), nomeadamente à nova geração da Internet designada por *Internet*

of Things (IoT), cuja aplicação alargada contribui para as transformar em *smart cities* (Shahanas & Sivakumar, 2016).

As *smart cities* definem-se como cidades modernas e avançadas, que utilizam as TIC para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e a eficácia operacional dos serviços urbanos, tendo evoluído para *smart sustainable cities*, enquanto um novo fenómeno tecnológico urbano, que está a adquirir cada vez mais atenção e relevância no mundo (Bibri, 2018; Bibri & Krogstie, 2017a; Silva, Khan, & Han, 2018).

As *smart sustainable cities* visam identificar os domínios urbanos, que estão associados às dimensões de sustentabilidade (e.g. transportes, energia, ambiente, mobilidade e acessibilidade, segurança pública, serviços públicos e sociais), através de uma base de dados que permita a sua profunda análise, interpretação e modelação, bem como o auxílio na tomada estratégica de decisões favoráveis à sustentabilidade e ao aumento da qualidade de vida dos cidadãos (Bibri & Krogstie, 2017b).

Atendendo ao facto de água ser um fator crítico para o desenvolvimento sustentável e um fator mobilizador das sociedades, devido aos recursos e serviços que oferece, as *smart sustainable cities* atuam na sua gestão inteligente, identificando a eficiência hídrica como um dos principais indicadores de sustentabilidade (Rashidi et al., 2015; Shahanas & Sivakumar, 2016; UN-Water, 2017; UN Chronicle, 2018).

Conjuntamente, a aplicação de tecnologias modernas no tratamento das águas residuais urbanas permite produzir um efluente de elevada qualidade e, conseqüentemente, torná-lo num recurso capaz de (1) responder aos desafios da crescente urbanização e da escassez hídrica; (2) potenciar o equilíbrio do nexus água-energia; (3) proteger o ambiente e (4) constituir um recurso apto para satisfazer as necessidades hídricas de diversas atividades (Rashidi et al., 2015; USEPA, 2012; Šrámková, Diaz-Sosa, & Wanner, 2018).

Segundo Asano, Burton, Leverenz, Tsuchihashi, & Techobanoglous (2007), na esfera ambiental, estas práticas promovem a conservação e a manutenção do equilíbrio ecológico das massas de água, bem como a gestão dos nutrientes no ambiente. Por outro lado, na esfera económica, a necessidade de fontes suplementares de água e das infraestruturas que lhes estão associadas é reduzida. Acresce o facto de, na esfera social, a água residual tratada está disponível de modo seguro, contínuo e próximo do ambiente urbano, onde a dependência pelos recursos hídricos e o seu custo são elevados.

Assim, o tratamento de água residual e a reutilização de água, enquanto componentes essenciais da gestão eficiente do ciclo urbano da água, oferecem importantes vantagens ambientais, que promovem a maximização do bem-estar urbano ao nível social e económico (Ruiz-Rosa, García-Rodríguez, & Mendoza-Jiménez, 2016; Vergine et al., 2017). E, segundo Trinh, Duong, Van Der Steen, & Lens, (2013), a reutilização de água surge como uma forma de adaptação às alterações climáticas, cujas forças motrizes devem salvaguardar a saúde pública, num equilíbrio entre benefícios económicos e ambientais.

1.1. Objetivos

A presente dissertação tem como foco principal o estudo do potencial de reutilização de água no Município de Arruda dos Vinhos.

A avaliação da possibilidade de reutilizar água atenderá (1) à caracterização da procura e da oferta de água, (2) à limitação de aplicabilidade em função dos usos selecionados, (3) à definição do âmbito de aplicabilidade, considerando possíveis soluções de tratamento adicional, que tornem viável a qualidade e o uso deste recurso hídrico, e (4) ao estudo técnico-económico e ambiental afeto ao seu tratamento adicional, armazenamento e respetiva distribuição.

1.2. Estrutura

A presente dissertação está organizada em nove capítulos:

- No capítulo dois, intitulado por “VIABILIDADE DE UM PROJETO DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA”, consideram-se diversos aspetos, que justificam a exequibilidade de tratar água, cuja qualidade permita a sua utilização numa ampla janela de aplicabilidades sem comprometer o ambiente, a saúde pública e ou a privação de recursos às gerações futuras e, também, como a aceitação e perceção deste recurso possibilita diversas vantagens económicas, assim como oportunidade de usufruir de cidades inteligentes e sustentáveis.
- O capítulo três, com o título de “TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO PARA PROTEÇÃO DA SAÚDE PÚBLICA E DO AMBIENTE”, integra conteúdos relativos às tecnologias de tratamento para a produção de água residual tratada, bem como metodologias para a seleção das mesmas.
- EXPERIÊNCIAS A NÍVEL GLOBAL, constitui o capítulo quatro onde se retratam diversas práticas de reutilização de água, que são influenciadas por diferentes contextos económicos, sociais, climáticos e geográficos, e que, conseqüentemente, caracterizam as suas necessidades em água, o tipo de medidas adotadas para a salvaguarda da saúde pública e do ambiente e, também, a sua perceção e aceitação pública.
- O capítulo cinco ilustra o caso de estudo e, por isso, enquadra a procura potencial de água residual a tratar na ETAR de Arruda dos Vinhos, procurando identificar os potenciais utilizadores e respetivas exigências do ponto de vista da qualidade. Por conseguinte, engloba a adoção de possíveis tecnologias, que são testadas face à sua viabilidade técnico-económica e ambiental.
- As conclusões da presente dissertação encontram-se no capítulo seis e as propostas futuras no capítulo sete.
- Por fim, as referências bibliográficas no capítulo oito e os anexos no capítulo nove.

1.3. Terminologia da Dissertação

A água residual não apresenta nenhuma definição universalmente aceite, tendo sido definida como (1) água utilizada, que contém sólidos residuais dissolvidos ou suspensos, ou como (2) água qualitativamente afetada pela atividade antropogénica, ou, ainda, (3) equiparada a esgoto, considerando apenas os usos relativos às atividades domésticas, industriais e institucionais (e.g. hospitais), que exclui o escoamento superficial não coletado proveniente das áreas urbanas (e.g. água pluvial) e das atividades agrícolas (e.g. água não infiltrada no solo). A definição adotada pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável considera as águas residuais como uma combinação de um ou mais tipos de efluente, nomeadamente: o doméstico; o de estabelecimentos comerciais e institucionais; o industrial e o escoamento urbano de águas pluviais; e o escoamento das atividades agrícola, hortícola e aquacultura (United Nations Global Water Report, 2017).

No âmbito deste trabalho, atende-se ao Artigo n.º 2, do Decreto-Lei n.º 157/97, de 19 de Junho, sobre o tratamento de águas residuais urbanas, que define e classifica as águas residuais em três categorias, nomeadamente:

- a) “Águas residuais domésticas” que são referentes aos usos e serviços residenciais, afetos à produção de águas negras (e.g. urina, fezes, água do autoclismo e papel higiénico) e cinzentas (e.g. água de lavar as mãos, de tomar banho, das máquinas de lavar roupa e loiça);
- b) “Águas residuais industriais” que atendem a qualquer tipo de água residual que não seja classificada como águas residuais domésticas, nem como águas pluviais;
- c) “Águas residuais urbanas” que são consideradas como águas residuais domésticas ou a mistura destas com as águas residuais industriais e ou pluviais.

De notar, que existem diversos termos relacionados com as águas residuais, que importam ser clarificados, tais como:

- **“Reutilização de água”** ou **“utilização de água residual”** – água residual tratada, parcialmente tratada ou não tratada, utilizada num processo diferente daquele que lhe deu origem (EPA, 2018; United Nations Global Water Report, 2017);
- **“Reciclagem de água”** – água residual, cujo tratamento atende ao tipo de necessidade, sendo utilizada no mesmo tipo de processo (EPA, 2018; United Nations Global Water Report, 2017);
- **“Recuperação de água”** – água residual aplicada na reutilização de água e na reciclagem de água (Salgot, 2008).

Numa ótica hierárquica, é preferencial reduzir o consumo de água e evitar o seu uso ineficiente, seguindo-se as alternativas de reciclagem e de reutilização de água, respetivamente (EPA, 2018).

2. VIABILIDADE DE UM PROJETO DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA

Os centros urbanos estão a explorar uma ampla matriz de opções que garanta a disponibilidade e a segurança no fornecimento de água, salientando-se a opção de utilização de água residual tratada, em resposta aos desafios da escassez e da conservação da água (Tran, Jassby, & Schwabe, 2017).

Adicionalmente, os regulamentos para a descarga de águas residuais são cada vez mais rigorosos, o que desencadeou a exploração de tecnologias eficazes para o tratamento de águas residuais urbanas, com o objetivo de reutilização (Mecha, Onyango, Ochieng, & Momba, 2017; Racar, Dolar, Špehar, & Košutić, 2017).

As Estações de Tratamento de Água Residual Urbana (ETARu) desempenham um papel central no saneamento de efluentes e na proteção da saúde pública. No entanto, os custos económicos e energéticos, assim como os problemas de emissão e transferência de poluentes associados aos processos convencionais são insustentáveis e cada vez mais in comportáveis. Nesse sentido, ao longo dos últimos anos, denotam-se esforços relativos à renovação de algumas ETAR, afirmando-as como “fábricas de recursos”, com a introdução de novas tecnologias e atualização das antigas (Li & Yu, 2016).

Diversas alterações nas tecnologias das ETAR resultam na produção de efluentes com qualidades diferentes, sendo necessário conhecer as tecnologias de tratamento para que o efluente final seja compatível com os usos específicos requeridos (Salgot & Folch, 2018; Šrámková et al., 2018).

No presente capítulo, apresentam-se diversos aspetos a ter em consideração num projeto de reutilização de água, nomeadamente: Motivação para Reutilizar Água; Principais Aplicações de Água Residual Tratada; Qualidade da Água vs. Riscos Sanitários e Ambientais; Linhas de Orientação para Reutilizar Água; Requisitos de Qualidade, Monitorização e Segurança na Reutilização de Água; Sustentabilidade Ambiental vs. Economia Circular; Perceção e Aceitação Pública nos Projetos de Reutilização de Água.

2.1. Motivação para Reutilizar Água

Ao longo do tempo existiram diversas abordagens relativamente à água residual. De 1945 a 1960, idealizava-se que os recursos naturais eram infinitos e, por isso, a solução era ignorar, resultando numa elevada e rápida degradação ambiental. Posteriormente a esse período, de 1960 a 1970, surge como solução diluir, que também causou impactos nefastos no ambiente. Na década de 70, emerge a abordagem “*end of pipe*”, que previa a filtração do efluente antes da sua descarga num meio recetor. A partir de 1980, o tratamento dos efluentes era incontestável, tendo evoluído até aos dias de hoje, atendendo à sustentabilidade e ao desenvolvimento de economias verdes, que incluem a sua reutilização e reciclagem (EEA, 2018; Piadeh, Moghaddam, Mardan, Moghaddam, & Mardan, 2014).

A motivação para reutilizar água depende de diversas forças motrizes, que têm impulsionado a implementação de projetos para produção de água residual urbana tratada (Figura 2.1). Segundo Asano et al. (2007), existem:

Forças motrizes de cariz racional:

- A água é um recurso limitado.
- A água residual tratada é reconhecida como uma solução efetiva: protege o ambiente dos efeitos nefastos das descargas de água residual e potencia o uso eficiente de energia e de recursos.
- A qualidade da água residual tratada é adequada para cada tipo de utilização, promovendo uma fonte de água suplementar, que contribui para o uso eficiente da água.

Forças motrizes de cariz motivacional:

- **Proximidade:** a água residual tratada está disponível nas zonas urbanas e periurbanas, onde os recursos hídricos são mais precisos e mais caros.
- **Dependência:** a reutilização é uma solução para fazer face às possíveis necessidades, mesmo em situações de escassez hídrica.
- **Versatilidade:** o tratamento de água residual é técnica e economicamente viável, quer para produzir água para usos não potáveis como para usos potáveis.
- **Segurança:** não existe relato de casos de reutilização de água, para usos não potáveis, com impactos negativos para a saúde pública, em países desenvolvidos, que operam há mais de quatro décadas.
- **Competição por recursos:** a pressão desregrada pelos recursos hídricos resulta do rápido crescimento populacional e, conseqüentemente, da crescente produção agrícola.
- **Responsabilidade fiscal:** reconhecimento progressivo dos benefícios económicos e ambientais pelos utilizadores de água residual tratada.
- **Interesse público:** conscientização crescente sobre os impactos ambientais associados ao uso ineficiente de água e entusiasmo da sociedade pelo conceito de recuperação e reutilização de água.
- **Impactos ambientais e económicos das abordagens tradicionais na gestão da água:** reconhecimento dos custos associados à construção das barragens e de reservatórios.
- **Histórico:** a nível global, existem cada vez mais projetos de reutilização de água bem-sucedidos.
- **Custo da água ajustado:** custo que reflita o custo de tratamento e da sua distribuição até aos utilizadores
- **Requisitos de qualidade da água mais exigentes:** aumento dos custos associados à atualização do tipo de tratamento das ETAR, por forma a que a qualidade da água seja compatível com os requisitos implementados.
- **Necessidade e oportunidade:** desenvolvimento de projetos de reutilização de água para situações de seca, de falta de água, de prevenção de intrusões salinas e para restrição de descargas de efluente, acrescendo, ainda, condições económicas, políticas e técnicas favoráveis para utilizar água residual tratada.

Figura 2.1 - Forças motrizes para reutilizar água

2.2. Principais Aplicações de Água Residual Tratada

A água residual é reconhecida como um recurso capaz de fornecer água, nutrientes, energia e outros produtos, sendo a sua reutilização progressivamente aceite como uma fonte alternativa e segura de recursos, mudando o paradigma da sua rejeição num meio recetor para a sua recuperação, reciclagem

e/ou reutilização, numa ampla janela de aplicabilidades (Hernández-Sancho et al., 2015; Salgot & Folch, 2018; World Economic Forum, 2017).

Nesse sentido, a água residual é considerada um potencial recurso renovável que pode ser reutilizado em atividades agrícolas, espaços verdes, indústria, recarga de aquíferos, utilizações recreativas e ambientais e outras utilizações urbanas não potáveis (e.g. lavagens de ruas, limpeza de coletores, combate a incêndios) e potáveis (Baptista & Escudeiro, 2008; Marecos; Albuquerque, 2010).

As águas residuais tratadas são, principalmente, aplicadas no setor agrícola para irrigação de culturas e comércio de sementeiras, que necessitam de grandes volumes de água. Por outro lado, o setor industrial, nos países desenvolvidos, utiliza 50% da água produzida para consumo humano em processos de refrigeração, aquecimento, processamento de materiais e manutenção de equipamentos. A reutilização de água no setor industrial pode ser efetuada de modo direto ou através de sistemas de tratamento de águas residuais descentralizados, que permitem reduzir o nível de contaminantes para um nível compatível com a segurança (De Gisi et al., 2017; Voulvoulis, 2018).

Nas áreas urbanas, a água residual tratada tem sido utilizada preferencialmente para a rega paisagística de parques, de jardins e de zonas residenciais, assim como para utilizações recreativas e ambientais, que incluem a recarga de lagos ou charcos e a recarga de linhas de água. A recarga de aquíferos é outro tipo de aplicação, que contribui, direta ou indiretamente, para a utilização de água em usos potáveis (De Gisi et al., 2017).

A reutilização de água para usos potáveis é possível, sendo a Austrália o país pioneiro no desenvolvimento de diretrizes específicas para esta finalidade (Khan & Anderson, 2018).

Na Tabela 2.1 apresentam-se diversos exemplos de aplicação de água residual tratada.

Tabela 2.1 - Potenciais aplicações de água residual tratada (De Gisi et al., 2017; Salgot & Folch, 2018; USEPA, 2012)

Reutilização	Aplicação
Uso urbano	Inclui a rega paisagística, os usos recreativos e os usos não potáveis
Uso agrícola	Irrigação de culturas e comércio de sementeiras
Rega paisagística	Parques, campos de golfe, corredores verdes, jardins
Uso industrial	Processos de refrigeração, aquecimento,
Recarga de massas de água	Reabastecimento de água subterrânea, controlo de intrusões salinas
Uso recreativo/ ambiental	Lagos e charcos, pesca, aumento do caudal de linhas de água
Usos não potáveis	Combate a incêndios, ar condicionado, autoclismos
Usos potáveis	Consumo humano direto ou indireto

De salientar, que a reutilização de água, para os usos urbanos e usos recreativos, pode ser restrita ou não restrita, atendendo ao facto de existir ou não contacto direto com o público, respetivamente. A reutilização de água restrita é efetuada com a introdução de barreiras físicas ou institucionais, como por exemplo vedações, sinalização e/ou acessos restritos temporários (USEPA, 2012).

2.3. Qualidade da Água vs. Riscos Sanitários e Ambientais

A multiplicidade dos potenciais usos da água residual tratada influencia a identificação dos constituintes que podem afetar negativamente a saúde pública e o ambiente. Ou seja, dependendo do uso final previsto, os constituintes de risco variam. De facto, alguns constituintes presentes na água podem afetar o bem-estar humano, sem comprometer a rega paisagística ou processos industriais. Outros constituintes, na mesma concentração, podem ter um impacto adverso em espécies aquáticas, mas não no ser humano (NRC, 2012).

Assim, o nível de tratamento requerido para cada tipo de efluente, previamente à sua reutilização, depende da oportunidade e do grau de contaminação, que é provocada pela presença de material fecal, de nutrientes e substâncias químicas, orgânicas e/ou inorgânicas (Toze, 2006). Alguns desses constituintes (Figura 2.2) podem afetar os seres humanos e/ou os ecossistemas, dependendo da concentração e da duração da exposição (NRC, 2012).

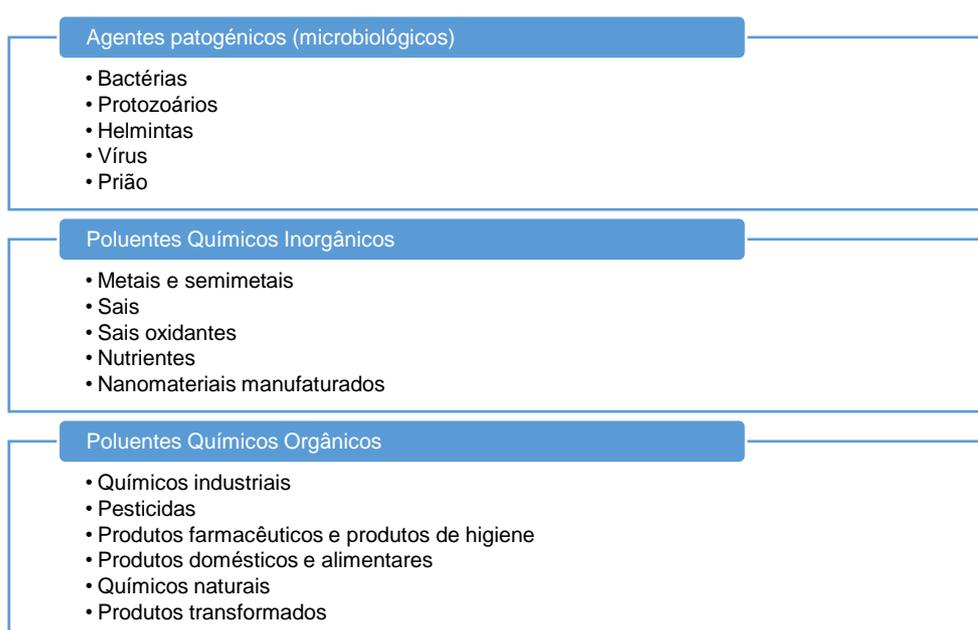


Figura 2.2 – Potenciais agentes patogênicos e contaminantes químicos presentes na água (NRC, 2012)

Agentes patogênicos (microbiológicos)

Anualmente, morrem milhões de pessoas (maioritariamente crianças) devido ao abastecimento inadequado de água e à carência de condições de higiene. Segundo Dickin, Schuster-Wallace, Qadir, (2016) e Rosado-García, Guerrero-Flórez, Karanis, Hinojosa, & Karanis (2017), existe uma clara ligação entre estes aspetos e as doenças infecciosas veiculadas pela água.

Os agentes patogênicos, provenientes do material fecal humano, que se encontram na água residual são bastante diversificados e podem ser classificados em quatro grupos: bactérias, protozoários, vírus e helmintas (Yaya-Beas, Cadillo-La-Torre, Kujawa-Roeleveld, Lier, & Zeeman, 2016) ou em cinco, incluindo príões (NRC, 2012).

- **Bactérias**

As infeções bacteriológicas mais severas resultaram de *E. coli*, *Shigella* e *Salmonella*, que estão associados a doenças gastroentéricas (Tabela 2.2). Atendendo às implicações das bactérias patogénicas na saúde pública, têm sido desenvolvidos sistemas de monitorização e controlo da qualidade da água, que utilizam como indicadores a *E. coli* e/ou *enterococcus* (Jeong, Kim, & Jang, 2016; Oh, Leong, Poh, Chong, & Lau, 2018; Salgot, Huertas, Weber, Dott, & Hollender, 2006; Sidhu, Sena, Rodgers, Palmer, & Toze, 2018).

Estes indicadores permitem avaliar a presença de contaminação fecal na água residual, uma vez que constituem parte da microflora no sistema digestivo humano, promovendo um melhor desempenho da digestão e absorção de nutrientes, e são mais resistentes que a maioria das bactérias patogénicas. A elevada concentração destas bactérias não patogénicas na água, possibilita a identificação da existência de material fecal associado e, portanto, se o tipo de tratamento preconizado é adequado para remover bactérias patogénicas do efluente (Bibbal et al., 2018; Ohrdes et al., 2018).

Tabela 2.2 - Bactérias comumente veiculadas pela água e doenças associadas (Marecos; Albuquerque, 2010; NRC, 2012; USEPA, 2012)

	Agente	Doença Associada
Bactérias	<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenterite
	<i>E. coli</i>	Enterite, diarreia
	<i>Salmonella</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> • <i>S. typhi</i> • <i>S. paratyphi</i> • Outras espécies 	<ul style="list-style-type: none"> • Febre tifóide • Febre paratífóide. • Salmoneloses
	<i>Shigella</i> spp.	Desintéria bacilar
<i>Vibrio Cholerae</i>	Cólera	
	Outros vibriões	
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroenterite e septicemia

- **Protozoários**

A Malária, uma das doenças mais conhecidas a nível global, é causada pelo parasita *Plasmodium*. Outros parasitas como a *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium parvum*, cujos ciclos de vida envolvem cistos e oocistos, provocam surtos de doenças gastrointestinais (Tabela 2.3) (Berglund et al., 2017; Plutzer & Karanis, 2016). Estes parasitas são facilmente detetados no efluente secundário, mas são dificilmente removidos via desinfecção com cloro, podendo persistir, também, a linhas de tratamento que incluem filtração de areia ou filtração por membranas a jusante da etapa de desinfecção (NRC, 2012).

Tabela 2.3 - Protozoários comumente veiculados pela água e doenças associadas (Helena Marecos; António Albuquerque, 2010; NRC, 2012; USEPA, 2012)

	Agente	Doença Associada
Protozoários	<i>Balantidium coli</i>	Diarreia, desintéria e úlcera do cólon
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Úlcera do cólon, desintéria, amibiana e abscesso do fígado
	<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia e má absorção

- **Helmintras**

Conhecidas vulgarmente por lombrigas, as helmintas colocam, frequentemente, em risco a saúde pública dos países desenvolvidos e, em particular, dos em desenvolvimento (e.g. países da América Latina), que utilizam efluente bruto ou primário para práticas agrícolas (Yaya-Beas et al., 2016).

A exposição humana a helmintas é efetuada, maioritariamente, via ingestão de alimentos ou de água, que estão contaminados com os seus ovos, causando problemas gastrointestinais (Tabela 2.4) (Yaya-Beas et al., 2016). Estes ovos são extremamente infecciosos – comumente, um ovo é suficiente – e persistentes no ambiente, bem como muito resistentes aos processos convencionais de desinfecção/inativação (B. Jiménez et al., 2016).

Tabela 2.4 - Helmintas comumente veiculadas pela água e doenças associadas (Marecos; Albuquerque, 2010; NRC, 2012; USEPA, 2012)

Agente		Doença Associada
Helmintas	<i>Ancylostoma uodenal</i>	Ancilostomíase
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariíase
	<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiase
	<i>Hymenolepsis nana</i>	Himenolepiase
	<i>Necator americanus</i>	Ancilostomíase
	<i>Strongyloides stercoralis</i>	Estrongiloidíase
	<i>Taenia saginata e Taenia solium</i>	Teníase
	<i>Trichuris trichura</i>	Tricuríase.

- **Vírus**

Os vírus são agentes infecciosos extremamente pequenos, que se reproduzem no interior das células de um organismo hospedeiro. Estes patogénicos são de especial interesse devido às suas dimensões, dose infecciosa reduzida e capacidade de resistência na desinfecção preconizada nas ETAR (Farkas et al., 2018).

Existem diferentes tipos de vírus, que infetam todos os tipos de organismos, incluindo animais, plantas e, até mesmo, bactérias. Os vírus de maior preocupação (Tabela 2.5) na reutilização de água ou na descarga de água residual tratada nos meios recetores são os enterovírus (e.g. hepatite A), os norovírus (e.g. vírus de *Norwalk*), os rotavírus e os adenovírus (Meschke & Sobsey, 1998; NRC, 2012).

Os vírus entéricos encontram-se nos efluentes secundários não desinfetados, podendo persistir na água após tratamento terciário, assim como no ambiente com o qual contactam. Os vírus entéricos humanos podem sobreviver em meio aquático durante semanas a meses (Courault et al., 2017).

Acresce o facto de o controlo e a monitorização da qualidade da água preconizada por indicadores fecais, como a *E. coli*, não revelarem de modo efetivo a presença ou a ausência de vírus, dado que os mesmos são mais facilmente removidos ou inativados no tratamento da água residual do que os enterovírus (Sidhu et al., 2018).

Assim, os vírus requerem atenção redobrada em contextos de reutilização onde exista exposição humana, particularmente, quando se trata de utilizações potáveis. A transmissão de partículas virais

pode ser efetuada pelo ar, solo, água e culturas. De notar, que a estrutura das partículas virais pode ser naturalmente danificada, quando as mesmas se encontram na atmosfera e sujeitas a uma intensidade de radiação ultravioleta elevada, por exemplo (Courault et al., 2017).

Tabela 2.5 - Vírus comumente veiculados pela água e doenças associadas (Marecos; Albuquerque, 2010; NRC, 2012; USEPA, 2012)

Agente		Doença Associada
Vírus	Enterovírus	
	Poliovírus	Paralisia, meningite asséptica
	Coxsackievírus	A – Paralisia, meningite asséptica, febres, doenças respiratórias B – Paralisia, meningite asséptica, pericardites, miocardites, doenças cardíacas congénitas, pleurodinia
	Ecovírus	Infeções respiratórias, meningite asséptica, diarreia, pericardite, miocardite, prurido, febre
	Reovírus	Doenças respiratórias, gastroenterites
	Adenovírus	Conjuntivite aguda, diarreia, doenças respiratórias
	Rotavírus	Gastroenterite infantil
	Vírus da hepatite A e E	Hepatite A
	Calicivírus	Gastroenterites, diarreias
	Norovírus	Gastroenterite

- **Priões**

Um prião é um agente infeccioso que é primeiramente uma proteína. O prião causa modificações nas proteínas nativas e, conseqüentemente, pode resultar numa doença (NRC, 2012).

Um exemplo é a encefalopatia espongiiforme bovina, vulgarmente denominada pela doença das vacas loucas, que é uma doença neuro-degenerativa e transmissível entre animais, podendo afetar o ser humano, aquando da ingestão de carne contaminada, numa variante da doença de *Creutzfeldt-Jakob*, ou seja, na deterioração progressiva da função mental (Budson & Paul, 2016).

Segundo Ding et al., (2014), os priões podem sobreviver nas massas de água e na água residual tratada após desinfecção com UV ou com cloro, sendo o ozono uma opção efetiva para a sua remoção.

Poluentes Químicos Inorgânicos

Os poluentes da água residual provenientes de fontes diferentes contêm, geralmente, uma diferença significativa no tipo de espécies, particularmente os poluentes químicos inorgânicos (Gao, Xu, & Bu, 2018).

- **Metais e semimetais**

Os metais são os compostos químicos mais preocupantes na salvaguarda da saúde pública. Muitos representam benefícios biológicos em pequenas quantidades, mas tornam-se prejudiciais em níveis de exposição elevados (e.g. toxicidade de plantas, com [Boro] > 0,5 mg/L) (FAO, 2003; Shakir, Zahraw, & Al-Obaidy, 2017).

Metais, como o Chumbo, o Mercúrio, o Crómio, o Arsénio, e semimetais, como Boro, podem resultar em efeitos adversos para a saúde humana (e.g. cancro, anemia) e interferir negativamente com o ambiente (Gao et al., 2018; Reznik et al., 2017).

O Cádmiu, por exemplo, é o metal que causa maior risco, dado que a sua taxa de absorção pode aumentar ao longo do tempo em função da concentração do solo, podendo afetar a saúde humana e animal em doses muito inferiores às das plantas. O efeito específico depende do tipo de composto, da sua concentração, da rota e tempo de exposição (Shakir et al., 2017).

A remoção destes poluentes químicos inorgânicos da água residual é conseguida com recurso a diversos processos (e.g. tecnologias de filtração por membranas, permuta iónica, precipitação química), sendo a adsorção a opção mais difundida, com melhores vantagens económicas e técnicas (L. Fang et al., 2018). Segundo Gao et al., (2018), as opções mais viáveis em termos energéticos e económicos incluem a remoção de metais via adsorção ou a degradação de metais através de reações de fotocatalise, com recurso à luz solar.

- **Sais**

A salinidade resulta na acumulação de sais solúveis nas soluções do solo (e.g. potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), cloreto (Cl^-)). O elevado teor de sais no solo causa o aumento da pressão osmótica na zona radicular das plantas e, conseqüentemente, introduz dificuldades na absorção de água e nutrientes pelas plantas (Jaramillo & Restrepo, 2017; Shakir et al., 2017).

A salinidade é reconhecida como o parâmetro que melhor qualifica se a água residual tratada é compatível com usos agrícolas, sendo medida através da condutividade elétrica ou da concentração dos sólidos dissolvidos totais da água (Shakir et al., 2017).

A sodificação resulta na acumulação de sódio (Na^+) nas soluções do solo que, para além de provocar instabilidade estrutural no solo – compactação, com redução da permeabilidade –, afeta o crescimento das plantas e a vida animal, devido à falta de oxigénio (Jaramillo & Restrepo, 2017; JRC, 2009). A sodificação é medida pela razão de adsorção de sódio (SAR) e, também, pela condutividade elétrica da água. De notar, que quanto maior for o valor da condutividade elétrica, menor é a propensão para reutilizar água na irrigação de culturas (Jaramillo & Restrepo, 2017; Shakir et al., 2017).

A aplicação de água residual tratada na agricultura, com concentrações elevadas de sódio (Na^+) e de cloretos (Cl^-) danifica o sistema foliar, enquanto concentrações elevadas de magnésio (Mg^{2+}) e de cálcio (Ca^{2+}) são responsáveis por provocar danos em eletrodomésticos e em equipamentos industriais, devido à dureza característica destes catiões. O excesso de sais na água é um risco para o ambiente e para as culturas, assim como para as infraestruturas que lhe são inerentes (De Gisi et al., 2017; NRC, 2012).

- **Sais oxidantes**

Os sais oxidantes, que incluem aniões como bromato, clorito, clorato e perclorato, são subprodutos inorgânicos que resultam de processos de oxidação (Miklos, Remy, Jekel, Linden, & Drewes, 2018).

Estes compostos são de elevado interesse para projetos de reutilização de água, particularmente para os de usos potáveis, que incluem na sua linha de tratamento processos de oxidação avançada e processos de desinfecção (NRC, 2012).

O perclorato, por exemplo, apresenta uma elevada solubilidade na água e uma fraca adsorção aos solos, podendo persistir nas massas de água, particularmente em aquíferos, e constituir um risco em termos de saúde pública (e.g. toxicidade por ingestão). Este oxidante, quando acumulado em culturas alimentares induz a desfoliação das plantas e, também, pode constituir outra fonte de exposição humana (Asano et al., 2007).

- **Nutrientes**

O corpo humano metaboliza e excreta produtos residuais e toxinas, cujo conteúdo é rico em azoto (N) e fósforo (P), sob as mais variadas formas. De facto, a ureia proveniente da urina humana é uma fonte de amónia. A amónia, assim como o nitrato e nitrito são as formas reativas do azoto orgânico (Matassa, Batstone, Hülsen, Schnoor, & Verstraete, 2015). Outras fontes de azoto incluem, por exemplo, a produção de fertilizantes azotados, atividades pecuárias e lixiviação de aterros sanitários (Nancharaiah, Mohan, & Lens, 2018).

Por outro lado, o fósforo é, maioritariamente, obtido através de recurso finito não renovável, nomeadamente da extração dos minerais apatite presentes nas rochas (Santos & Pires, 2018).

Estes nutrientes podem causar impactes nefastos no ambiente, mas introduzem benefícios na reutilização de água para usos não potáveis, particularmente em práticas de irrigação (Vergine et al., 2017). Na aplicação de água residual tratada na rega, a presença de N e P potencia o crescimento das plantas ou das culturas, diminuindo o consumo de recursos naturais e energia, bem como o custo associado à compra de fertilizantes comerciais (Ward, Arola, Thompson Brewster, Mehta, & Batstone, 2018).

No entanto, a absorção de soluções nutritivas pelas culturas é, significativamente, ineficiente, dado que apenas incorporam no seu sistema 31 a 49% do N e 45% do P fornecidos. Esta ineficiência promove a acumulação dos nutrientes excedentes no solo e nos cursos de água e a libertação de gases para a atmosfera (Santos & Pires, 2018).

A contaminação de águas superficiais com nitrato é vulgarmente conhecida e relacionada com a síndrome do bebé azul e com o aparecimento de doenças cancerígenas. Adicionalmente, a acumulação de P e N nas massas de água favorece o crescimento de algas e plantas aquáticas, que deterioram a qualidade de água (e.g. desenvolvimento de cor, odor, turbidez), reduzindo o oxigénio dissolvido e, portanto, colocando em causa a vida de diversas espécies aquáticas (Richards, Paterson, Withers, & Stutter, 2015; Ward et al., 2018). Os nutrientes que atingem e se acumulam no solo podem causar a sua acidificação. Acresce o facto, que o N potencia a libertação de gases de efeito de estufa (e.g. por cada tonelada de amónia é emitida três e meia toneladas de CO₂ para a atmosfera), contribuindo para o aquecimento global e para a depleção da camada estratosférica do ozono (Santos & Pires, 2018; Ward et al., 2018).

Relativamente aos processos de remoção de nutrientes, importa referir que os processos convencionais envolvem o consumo intensivo de energia (D. Sun et al., 2018) e, que atualmente, surgiram outras soluções mais sustentáveis que envolvem a produção de algas (e.g. *Chlorella vulgaris*), cujos constituintes têm interesse para a produção de biocombustíveis (e.g. bioetanol), de suplementos alimentares e de produtos farmacêuticos e cosméticos (Lei et al., 2018; Matassa et al., 2015; Znad, Al Ketife, Judd, AlMomani, & Vuthaluru, 2018)

- **Nanomateriais**

Nanomateriais resultam da ciência e da engenharia das nanopartículas (Martinho, 2016). As suas dimensões variam entre 1 a 100 nanómetros e configuram diferentes arquiteturas, nomeadamente uma dimensão (e.g. nanomembranas de *Langmuir–Blodgett*), duas dimensões (e.g. nanotubos de carbono), e três dimensões (e.g. nanoporos de sílica) (Brar, Verma, Tyagi, & Surampalli, 2010).

Os nanomateriais têm sido amplamente utilizados devido à singularidade das suas características estruturais, que incluem flexibilidade, propriedades magnéticas e uma extraordinária área de superfície específica, que permite libertar facilmente energia e, portanto, apresentar uma elevada reatividade superficial (Ghodke, Sonawane, Bhanvase, & Potoroko, 2018). Os nanomateriais são utilizados na produção de microeletrónica, semicondutores, têxteis, tintas, produtos de cuidado pessoal, e, inclusive, produtos alimentares (Choi, Johnston, Wang, & Huang, 2017; OCDE, 2016).

Segundo Ma, Elankumaran, Marr, Vejerano, & Pruden, (2014), à medida que a aplicação de nanotecnologia se expande, a problemática dos nanomateriais desenvolve-se, com o aumento dos efeitos adversos na saúde humana e no ambiente. Exemplos disso são citotoxicidade e genotoxicidade nos seres humanos causada por nanopartículas de prata e de titânio e a toxicidade da vida aquática.

As ETAR são uma via crítica de receção de nanomateriais e da descarga dos mesmos no ambiente (Choi et al., 2017). De facto, os nanomateriais não são retidos nas ETAR de modo eficaz e, conseqüentemente, atingem as massas de água ou o solo através da irrigação de água residual tratada. Aproximadamente, 80% dos nanomateriais afluentes às ETAR associam-se às lamas e terminam o seu ciclo de vida em processos de reutilização, compostagem, incineração e aterro sanitário, afetando o solo (e.g. aplicação de lamas ou de composto), os recursos hídricos (e.g. lixiviados) e a atmosfera (e.g. emissões das incineradoras) (Ma et al., 2014; Martinho, 2016; OCDE, 2016).

Poluentes Químicos Orgânicos

Os micropoluentes, também denominados por contaminantes vestigiais ou, ainda, por contaminantes emergentes, consistem numa vasta e extensa matriz de substâncias antropogénicas e naturais (Luo et al., 2014).

Tratam-se de químicos industriais, pesticidas, produtos farmacêuticos e produtos de higiene, produtos domésticos e alimentares, químicos naturais e produtos transformados (NRC, 2012).

Os micropoluentes são, frequentemente, gerados através da degradação de compostos orgânicos, resultando na acumulação de metabolitos persistentes, ou da eliminação de produtos (e.g. produtos farmacêuticos), no ambiente natural (Gavrilescu, Demnerová, Aamand, Agathos, & Fava, 2015).

Os efeitos destes poluentes químicos orgânicos são nefastos para a saúde pública e para o ambiente. No entanto, é notável a sua falta de monitorização e controlo a nível global. A Europa, por exemplo, através da Diretiva n.º 2008/112/CE estabelece a lista europeia de substâncias perigosas, na qual se encontram, somente, alguns destes micropoluentes (e.g. bisfenol A) (Luo et al., 2014). Portugal, transpõe a diretiva em questão para o Decreto-Lei n.º 98/2010, por forma a estabelecer “o regime a que obedece a classificação, embalagem e rotulagem das substâncias perigosas para a saúde humana ou para o ambiente, com vista à sua colocação no mercado” (Decreto-Lei 98/2010, 2010).

- **Químicos industriais**

A maior parte dos químicos produzidos pelas atividades industriais têm afluído às ETAR e, por vezes, afetam os processos de tratamento biológicos e, portanto, reduzem a eficiência do tratamento da água residual. Tratam-se de solventes, detergentes, misturas de combustíveis, plastificantes, retardantes de chama, entre outros (NRC, 2012).

Nos Estados Unidos da América, por exemplo, foi estabelecido em 1972 um programa denominado por *Clean Water Act*. Atualmente, o mesmo impõe o pré-tratamento dos efluentes industriais, previamente à sua descarga nos sistemas de drenagem, com foco nestes poluentes, que resulta na redução significativa da carga poluente que afluem às ETARu (USEPA, 2002, 2018).

Relativamente aos impactos ambientais e na saúde humana, químicos industriais, como o Bisfenol A, promove efeitos estrogénicos (comprovado nos ratos) e efeitos hormonais, que favorecem o risco de cancro da mama (Bolong, Ismail, Salim, & Matsuura, 2009).

- **Pesticidas**

Os pesticidas são amplamente utilizados no controlo de pragas na agricultura, de forma pouco controlada e excessiva, poluindo o ambiente e constituindo parte integrante de diversos produtos alimentares (Chawla, Kaushik, Shiva Swaraj, & Kumar, 2018).

Os pesticidas continuam a ser detetados nas massas de água, embora alguns deles tenham sido, gradualmente, banidos do mercado, reduzidos na sua aplicação e substituídos por outros ambientalmente amigáveis (Gavrilescu et al., 2015).

Os metabolitos dos pesticidas são biologicamente ativos e tóxicos, cuja estrutura particular e propriedades químicas permitem a sua bioacumulação em animais e humanos, interferindo, essencialmente, com o sistema endócrino (e.g. Diclorodifeniltricloroetano ou DDT) e imunitário (e.g. Lindano) (Bolong et al., 2009; USEPA, 2000).

De facto, os pesticidas podem ser carcinogénicos e citotóxicos, podendo produzir desordens na medula óssea e no sistema nervoso, assim como infertilidade e doenças imunológicas e respiratórias (Chawla et al., 2018).

- **Produtos farmacêuticos e produtos de higiene**

Os produtos farmacêuticos e os produtos de higiene são consumidos de modo extensivo e crescente, pelo Homem e pelos animais, como resposta a cuidados medicinais e aspetos de melhoria de qualidade de vida (Ebele, Abou-Elwafa Abdallah, & Harrad, 2017). Entre eles, salientam-se os antibióticos (e.g. sulfonamidas), os anti-inflamatórios e analgésicos (e.g. paracetamol), os esteroides, os antidepressivos

(e.g. carbamazepina), os estimulantes (e.g. cafeína), os repelentes de insetos (e.g. DEET), as fragâncias (e.g. galaxolide) e os cosméticos (e.g. protetores solares) (Sui et al., 2015; Tiwari et al., 2017).

A introdução destes poluentes químicos no ambiente aquático, via tratamento inadequado das ETAR, acomoda problemas de persistência, bioacumulação e toxicidade (Ebele et al., 2017).

Estes poluentes químicos podem causar consequências não expectáveis e efeitos intencionais em espécies não-alvo, bem como introduzir efeitos indesejáveis no Homem e nos ecossistemas (Sui et al., 2015). Um caso vulgarmente conhecido é a feminização de espécies, nomeadamente de peixes machos, devido à longa exposição a concentrações, normalmente reduzidas, de estrogénio no ambiente aquático (Tiwari et al., 2017).

Segundo J. Wang & Wang, (2016) a remoção dos produtos farmacêuticos e dos produtos de higiene da água residual pode ser efetuada através de processos de lamas ativadas, que são uma solução económica e efetiva. No entanto, quando estes químicos orgânicos são resistentes à biodegradação do substrato orgânico, é necessário recorrer a técnicas de oxidação avançadas, como pré-tratamento. O mesmo autor acrescenta, que tal pode acontecer caso as bactérias presentes nas lamas ativadas não sejam capazes de degradar estes poluentes ou a sua baixa atividade metabólica, ou caso a biodisponibilidade dos mesmos seja reduzida até certo ponto.

- **Produtos domésticos e alimentares**

Existem inúmeros químicos que são utilizados para limpeza, desinfeção, pinturas, preparação dos alimentos e outras aplicações. Estes químicos são considerados poluentes de interesse uma vez que têm impactes negativos na saúde humana e no ambiente (NRC, 2012).

Os detergentes, por exemplo, são uma fonte de fosfatos, que quando afluem às ETAR, sofrem um tratamento inadequado e atingem as massas de água, contribuindo para a eutrofização do meio (Richards et al., 2015).

A sucralose, um adoçante superficial, é outro exemplo de um poluente que atinge os meios recetores, sendo inclusive reconhecido como um indicador qualitativo do tratamento da água residual, devido à sua resistência a processos como a osmose inversa (Oppenheimer, Eaton, Badruzzaman, Haghani, & Jacangelo, 2011).

- **Químicos que ocorrem naturalmente**

Coletivamente, os disruptores endócrinos consistem em hormonas naturais, hormonas sintéticas e respetivos metabolitos. A maioria destas hormonas são estrogénios (Hamid & Eskicioglu, 2012). Os estrogénios que ocorrem naturalmente incluem, entre outros, a estrona (E1), o 17 β -estradiol (E2) e a testosterona (Amin et al., 2018).

Provenientes da excreção humana e animal, estes químicos naturais atuam como disruptores endócrinos, influenciando o crescimento e o metabolismo dos seres vivos, assim como a dinâmica dos ecossistemas, particularmente do ecossistema aquático. De facto, os estrogénios afetam o sistema endócrino dos peixes e podem causar impactos adversos na sua reprodução e no seu desenvolvimento, resultando na feminização e indução de vitelogenina (proteína característica dos peixes fêmea) dos

peixes machos, assim como no decréscimo da fertilização de ovos (Damkjaer, Weisser, Msigala, Mdegela, & Styrihave, 2018).

Segundo Cardoso, (2017), o aumento da temperatura da água (+ 3°C) conjugado com a presença de hormonas (e.g. levonorgestrel – presente em contraceptivos orais) inibe a reprodução dos peixes (e.g. peixes-zebra), concluindo que o aquecimento global pode amplificar o efeito adverso das hormonas.

Adicionalmente, doenças cancerígenas, como o cancro da mama e da próstata, e a puberdade precoce foram correlacionadas com a exposição humana à água contaminada com E2 (Damkjaer et al., 2018).

As ETAR representam uma das maiores fontes de estrogénios, dado que o tratamento convencional, comumente, implantado não foi projetado para remover completamente estes contaminantes químicos (T. Y. Fang et al., 2018).

- **Produtos transformados**

Os efluentes são, geralmente, caracterizados por um elevado teor de matéria orgânica, que sujeitos a diferentes processos e operações de tratamento não são, verdadeiramente, reduzidos ou mineralizados (devido à biodegradabilidade do substrato orgânico, i.e., aptidão do mesmo para ser oxidado, por via biológica, a dióxido de carbono e água). No entanto, as operações unitárias (e.g. decantação) e os processos unitários biológicos e/ou de oxidação, que separam contaminantes para posterior eliminação (e.g. lamas, concentrado da osmose inversa, carvão ativado consumido), resultam na formação de produtos transformados. De notar, que quando estes produtos resultam de processos de desinfeção, designam-se por subprodutos (NRC, 2012).

Existem compostos que podem ser inócuos na sua forma original, mas que podem ser transformados em substâncias tóxicas ao longo do tratamento preconizado nas ETAR. Um caso conhecido é a formação de N-nitrosodimetilamina (NDMA), durante processos de desinfeção com cloro. A NDMA é a nitrosamina mais estudada, devido ao seu potencial carcinogénico, constituindo um poluente de particular interesse aquando existe reutilização de água em usos potáveis (Sgroi, Vagliasindi, Snyder, & Roccaro, 2018).

O triclosan, por exemplo, é um agente antimicrobiano comum nos produtos de higiene (e.g. dentífricos), vulgarmente presente nos efluentes domésticos (Chen et al., 2012). Este contaminante, de um modo geral, não é removido durante o tratamento secundário, afluindo, por isso, aos processos de desinfeção (Buth, Ross, McNeill, & Arnold, 2011). Tal sucede-se porque o triclosan inibe o crescimento bacteriano, através do bloqueio da biossíntese lipídica, que é crucial para a manutenção da integridade das membranas plasmáticas e para a reprodução bacteriana (Chen et al., 2012). Consequentemente, não permite que as bactérias desempenhem o seu papel de oxidação, i.e., conversão, de matéria orgânica carbonácea em água e dióxido de carbono, bem como em biomassa adicional (Metcalf & Eddy, 2014).

A desinfeção da água residual via cloro, na presença de triclosan, resulta na formação de diversos subprodutos, nomeadamente de clorofórmio, reconhecido como um trihalometano. Os trihalometanos (THM) resultam da desinfeção do efluente com cloro, na presença de matéria orgânica natural (MON), sendo identificados como genotóxicos, que podem atuar sobre os seres humanos (e.g. desenvolvimento de cancro) e afetar a vida aquática (e.g. disruptor endócrino), aquando do seu

consumo direto ou exposição a ambientes favoráveis à sua volatilização (e.g. cozinhar e tomar duche) (Buth et al., 2011; Zainudin, Hasan, & Abdullah, 2018).

Importa salientar que a interação entre a MON e os desinfetantes aplicados é a principal força motriz para a formação de subprodutos (Alexandrou, Meehan, & Jones, 2018). Por outro lado, o ciclo urbano da água, que inclui cada vez mais práticas de reutilização, tem promovido a transação de MON (e.g. substâncias húmicas persistentes) das ETA para as ETAR, combinando-a com diversos compostos orgânicos, que contribuem para uma maior formação de subprodutos (Alexandrou et al., 2018; Nam & Amy, 2008).

A aplicação de tecnologias de biodegradação (e.g. filtração biológica, via carvão ativado biológico ou via reator biológico de membranas, e tratamento aquífero do solo) têm potencial para eliminar THM da água residual, apresentando como vantagens o facto de serem uma tecnologia verde, com custos de operação e manutenção comportáveis (Zainudin et al., 2018; Petrie, McAdam, Lester, & Cartmell, 2014).

2.4. Linhas de Orientação para Reutilizar Água

A possibilidade de diminuir o uso ineficiente de água, com qualidade e constância de elevada fiabilidade, é conseguida na presença de uma gestão efetiva, que integre tecnologia, inovação e um alinhamento de contextos e de vontades políticas, regulatórias, empresariais e societais AdTA, 2018; Nzila, Razzak, & Zhu, 2016; Roccaro & Verlicchi, 2018).

2.4.1. Políticas de Planeamento Nacional da Água

O planeamento nacional da água tem como foco a proteção e a gestão da água, assim como a compatibilização das utilizações da água de acordo com as suas disponibilidades. O planeamento da água é preconizado através de três instrumentos, nomeadamente o Plano Nacional da Água (PNA), os Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) e os Planos Específicos de Gestão da Água (APA, 2018).

No âmbito deste trabalho, destacam-se os Planos Específicos de Gestão da Água, que remetem para o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água 2012-2020 (PNUEA 2012-2020), o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2020 (PENSAAR 2020) e o Programa Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH), enaltecendo-se os dois primeiros, dada a importância que assumem perante uma “nova cultura de água” e a uma “água com futuro” em Portugal (APA, 2018).

Adicionalmente, destaca-se o Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR), que atende à Estratégia Portugal 2020, assumindo extrema importância na gestão do ciclo urbano da água (MAOTE, 2017a).

- **PNEUA 2012-2020**

O PNEUA 2012-2020 é um instrumento desenvolvido no âmbito de uma “*política ambiental, integrada e transversal*”, com o objetivo de reduzir o uso ineficiente de água, principalmente nos setores urbano, agrícola e industrial, atuando enquanto imperativo ambiental (e.g. recurso finito) e imperativo ético (e.g. gestão do recurso para as gerações vindouras), por forma a satisfazer uma necessidade estratégica (e.g. aumento das disponibilidades e reservas nacionais de água) (MAMAOT, 2012).

O programa em questão apresenta uma estreita ligação com o Programa Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), definindo medidas de eficiência hídrica e energética, cujas sinergias do nexus água-energia resultam em impactos positivos de índole ambiental compagináveis com os de índole económica (MAMAOT, 2012).

O interesse económico do uso eficiente da água reflete-se em várias esferas, nomeadamente (1) na nacional, (2) no tecido empresarial, (3) nas entidades gestoras e (4) nos cidadãos. A primeira esfera foca-se na estrutura de custos da água, na qual se pretende reduzir os montantes financeiros dependentes do uso da água, através do aproveitamento das águas residuais e da redução dos consumos de energia. A segunda esfera define a água como um importante fator de produção, capaz de impulsionar a competitividade económica (e.g. pegada hídrica). A terceira esfera compreende a mitigação das perdas de água no sistema de armazenamento, transporte e distribuição, evitando o desperdício de volumes de água necessários para a produção de energia do próprio sistema. A quarta esfera visa a diminuição dos encargos domésticos dos consumidores (MAMAOT, 2012).

O PNEUA 2012-2020 estabelece diversas soluções estratégicas e específicas importantes, para os vários setores, assentes na adequação tecnológica e dos comportamentos humanos. No setor urbano, propõe, para além da conscientização pública em torno do valor da água, através da promoção da poupança e do uso equipamentos normalizados e certificados, que contribuem para o seu uso eficiente, um maior esforço nos sistemas públicos (não domésticos), cujos custos não são diretamente suportados pelos consumidores (e.g. hospitais, escolas e instalações desportivas). No setor agrícola, preconiza medidas para a redução das perdas de água na sua aplicação ao solo, nomeadamente com a introdução de sistemas de aviso e agro-meteorológicos e com a reconversão e automatização dos métodos de rega (e.g. por gravidade, aspersão e localizada). Comum aos setores urbano e agrícola, incide sobre a redução das perdas de água nos sistemas de abastecimento. No setor industrial remete para a otimização do uso da água, com a aplicação das Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) nos processos e operações, assim como para a limitação das descargas residuais industriais de acordo com o regime de Prevenção e Controlo Integrados de Poluição (PCIP) (MAMAOT, 2012).

Importa referir que a reutilização de água surge como uma solução específica, para os setores urbano e industrial. No entanto, para o setor agrícola, tal não acontece, apesar de o mesmo ser, em termos de volume, o maior consumidor nacional (> 80%) e ser, em termos de metas para 2020, o setor com maior ineficiência no uso de água (35%). Acresce o facto de o setor agrícola apresentar menos de metade das medidas definidas para o setor urbano. Adicionalmente, estima-se ser possível alcançar um benefício económico anual de 39 milhões de euros no setor urbano, por oposição a 48 milhões de euros no setor agrícola, que atendendo às medidas estabelecidas no PNEUA 2012-2020, o mesmo ficará aquém do seu potencial.

- **PENSAAR 2020**

O Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2020 (PENSAAR 2020) aborda uma nova estratégia, resiliente e segura, que promove “serviços de qualidade a um preço sustentável” à população e garante a evolução do setor de águas para um nível de excelência (MAOT, 2015).

O diagnóstico da situação do setor reporta, que da população nacional, 95% tem acessibilidade física à rede pública de abastecimento de água e 81% tem acessibilidade física aos serviços de saneamento de águas residuais (MAOT, 2015).

A partir do balanço do PEAASAR I (2000-2006) e, principalmente do PEAASAR II (2007-2013), definiram-se cinco eixos e dezanove objetivos operacionais (OP) no PENSAR 2020, para o setor das águas, conforme o Anexo A. No âmbito deste trabalho, salientam-se as medidas e ações sob a responsabilidade da ERSAR, nomeadamente o eixo três, que visa a otimização e gestão eficiente dos recursos, e o eixo quatro, que incide sobre a sustentabilidade económico-financeira e social do setor das águas. Destaca-se o OP 3.5, que é relativo à valorização de recursos e subprodutos, com o objetivo de promover o uso de água residual tratada, sempre que a mesma seja técnico-económica e ambientalmente viável. À luz do OP 3.5, surge a possibilidade de venda de água residual tratada e, conseqüentemente surge a necessidade de se elaborar um tarifário que a considere uma atividade regulamentada. Nesse sentido, atende-se ao OP 4.1 que promove a alocação de tarifários para uma cobertura sustentável de gastos das Entidades Gestoras (Alves et al., 2017).

De notar que um dos objetivos definidos no PEAASAR II previam a reutilização de 10% de água, no entanto, reutilizaram-se somente 0,1%, no período de 2007 a 2013, sendo que a maior parcela (89%) de utilização de água residual corresponde aos usos internos das Entidades Gestoras (e.g. água de serviço para lavagens). No PENSAAR 2020, identificam-se diversos motivos para os resultados obtidos, nomeadamente o custo de transporte e de tratamento, a existência de opções economicamente mais atrativas, a credibilidade dos utilizadores face à qualidade da água residual tratada, e, também, a ausência de legislação adequada (MAOT, 2015).

Segundo o último relatório de avaliação do PENSAAR 2020, existe uma necessidade clara na melhoria do setor das águas, sendo a utilização de águas residuais tratadas, para diversos fins, considerada um eixo central na gestão sustentável dos recursos hídricos. Contudo, a reutilização de água continua na ordem de 1%, afigurando-se uma situação preocupante na adaptação às alterações climáticas e nos contextos regionais de maior escassez hídrica. De notar, que se preveem iniciativas políticas (e.g. incentivos à reutilização e revisão do PNEUA) para fomentar a utilização de água residual tratada de modo tecno-económico e ambientalmente viável (MAOTE, 2017a).

- **PO SEUR**

O Programa Operacional de Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos surge no contexto da Estratégia Portugal 2020 e visa reforçar a antecipação e a adaptação às alterações climáticas. A programação de um menor consumo de recursos naturais e energéticos, compagináveis com o desenvolvimento económico, social e territorial, atende à alocação financeira de Fundos Europeus Estruturais e de Investimento (FEEI) para três eixos de extrema importância, nomeadamente: (eixo I)

transição para uma economia de baixo carbono; (eixo II) resiliência às alterações climáticas, com prevenção e gestão de riscos; e (eixo III) proteção do ambiente (MAOTE, 2017b).

Relativamente ao eixo III, o programa remete para o setor da água, obedecendo a diversas operações elegíveis das quais se enaltece a reutilização de água e a execução de etapas de afinamento do tratamento existente (MAOTE, 2017b).

Importa referir, que o PO SEUR mobiliza o financiamento comunitário através do lançamento de concursos de diversos programas operacionais, em que os potenciais beneficiários submetem candidaturas de acordo com as regras sobre os critérios e procedimentos de avaliação (MAOTE, 2017b).

2.4.2. Instrumentos de Planeamento Nacional da Água

O planeamento da água relativo às águas residuais é preconizado através de diversos instrumentos, tais como:

- o **Decreto-Regulamentar n.º 23/95** (1995), que define o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais;
- o **Decreto-Lei n.º 152/97** (1997), que atende à drenagem e ao tratamento das águas residuais urbanas;
- o **Decreto-Lei n.º 236/98** (1998), que estabelece os requisitos de qualidade para a proteção do meio aquático e para melhorar a qualidade das águas em função dos seus usos;
- o **Decreto-Lei n.º 194/2009** (2009) relativo ao regime jurídico dos serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos;
- a **Norma Portuguesa 4434:2005** (2005) no que diz respeito à reutilização de águas residuais urbanas tratadas na rega;
- a **Recomendação IRAR n.º 02/2007** (2007) sobre a utilização de água residual tratada, desde que a mesma seja técnica e economicamente viável, apresentando soluções para os desafios na implementação desta atividade;
- o **Guia Técnico n.º 14 da ERSAR** (2010), que pretende colmatar a lacuna de informação, em publicações de língua portuguesa, e promover a utilização ambientalmente sustentável e economicamente mais vantajosa da água residual tratada, com salvaguarda da saúde pública;
- e o **Decreto-Lei n.º 114/2014** (2014), que considera os procedimentos necessários à implementação do sistema de faturação dos serviços públicos de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos, procedendo à segunda alteração do Decreto-Lei n.º 194/2009.

O contributo dos principais instrumentos legislativos está disposto na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Contributo dos principais instrumentos legislativos para a reutilização de água em Portugal

Decreto-Regulamentar n.º 23/95
No âmbito do destino final das águas residuais, a ERSAR encontra-se a promover a revisão deste diploma legal, por forma a viabilizar a reutilização da água em múltiplos fins (MAOTE, 2017a).
Decreto-Lei n.º 152/97
Artigo 11.º - “As águas residuais tratadas, bem como as lamas, devem ser reutilizadas, sempre que possível ou adequado.”
Decreto-Lei n.º 236/98
Capítulo V, Artigo 58.º: <ul style="list-style-type: none"> • <u>N.º 3</u> - “A utilização das águas residuais na rega das culturas agrícolas e florestais está condicionada ao licenciamento pela Direção Regional do Ambiente (DRA) e depende de parecer favorável da Direção Regional da Agricultura (DRAg) e do Delegado Regional de Saúde (DRS).” • <u>N.º 4</u> - “A utilização de águas residuais na rega de jardins públicos depende de autorização da DRA, mediante parecer favorável da autoridade de saúde competente.” • <u>Anexo XVI</u> - Qualidade das águas destinadas à rega. • <u>Anexo XVII</u> - Métodos analíticos de referência e frequência mínima de amostragem das águas destinadas à rega.
Decreto-Lei n.º 194/2009
Capítulo I: <ul style="list-style-type: none"> • <u>Artigo 2.º, n.º 1 e n.º 2</u> - “Os serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos (...) podem incluir a valorização de subprodutos resultantes daquelas atividades, nomeadamente a disponibilização de águas residuais tratadas aptas a novas utilizações.” • <u>Artigo 5.º, n.º 1</u> - “As actividades referidas no n.º 1 do artigo 2.º devem ser prestadas de acordo com os seguintes princípios: <ul style="list-style-type: none"> o a) A promoção tendencial da sua universalidade e a garantia da igualdade no acesso; o b) A garantia da qualidade do serviço e da protecção dos interesses dos utilizadores; o c) O desenvolvimento da transparência na prestação dos serviços; o d) A protecção da saúde pública e do ambiente; o e) A garantia da eficiência e melhoria contínua na utilização dos recursos afectos, respondendo à evolução das exigências técnicas e às melhores técnicas ambientais disponíveis; o f) A promoção da solidariedade económica e social, do correcto ordenamento do território e do desenvolvimento regional.” • <u>Artigo 5.º, n.º 2</u> - “Os princípios estabelecidos no número anterior devem ser prosseguidos de forma eficaz, de forma a oferecer, ao menor custo para os utilizadores, elevados níveis de qualidade de serviço.” • <u>Artigo 5.º, n.º 3</u> - “A organização dos sistemas deve privilegiar a gestão integrada dos sistemas de abastecimento público de água e de saneamento de águas residuais urbanas e de sistemas de saneamento de águas pluviais, de forma a maximizar economias de gama.”

Relativamente à **Norma Portuguesa 4434:2005**, a mesma define os requisitos de aplicação de água residual urbana tratada na rega, atendendo à minimização dos impactos ambientais e aos riscos para a saúde pública, bem como ao controlo e à monitorização desta prática.

De notar, que o âmbito deste instrumento normativo é limitado à reutilização de água residual urbana na rega de culturas agrícolas, florestais, ornamentais, viveiros, relvados e outros espaços verdes, desde

que recolhida em sistemas de drenagem coletivos e sujeita a tratamento em ETAR. Deste modo, exclui-se águas industriais ou provenientes de instalações agrícolas ou agroindustriais.

- Requisitos de aplicação

Os requisitos de aplicação consideram a (1) qualidade da água residual tratada para rega, (2) os métodos, processos e tipos de rega, (3) as características da área a regar e (4) as culturas suscetíveis de utilização.

A qualidade da água residual tratada para rega tem que satisfazer as características físicas, químicas e microbiológicas presentes na legislação que se encontra em vigor, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 236/98. Na Tabela 2.7, expõem-se os Valores Máximos Recomendados (VMR), assim como os Valores Máximos Admitidos (VMA) de alguns parâmetros importantes no desenvolvimento deste trabalho, que incluem a salinidade, a razão de adsorção de sódio (SAR), os sólidos suspensos totais (SST), os nitratos, o pH, e os coliformes fecais.

Tabela 2.7 - Parâmetros relativos à qualidade das águas destinadas para rega (adaptado do DL n.º 236/98)

Parâmetros	Unidades	VMR	VMA
Salinidade			
a) CE	dS/m	1	-
b) SDT	mg/L	640	-
SAR	-	8	-
SST	mg/L	60	-
Nitratos (NO ₃)	mg/L	50	-
pH	-	6,5 – 8,4	4,5 – 9,0
Coliformes fecais	/100 mL	100	-

Os métodos, os processos e os tipos de rega devem de ser selecionados de acordo com os seguintes aspetos: (1) minimização do contacto entre a água e as partes comestíveis das plantas, (2) minimização do risco de escoamento superficial e (3) o transporte eólico de aerossóis e de gotas. Os métodos que compreendem melhor os aspetos referidos são os processos de rega por gravidade, os processos de rega subterrânea e a rega gota a gota.

As características da área a regar incluem a caracterização física e química do solo, por forma a avaliar se a aplicação da água residual urbana tratada afeta, positivamente ou negativamente, o regadio e o ambiente.

Um dos aspetos físicos com maior influência no solo é o declive do terreno, não devendo o mesmo ser superior a 20%, por forma a assegurar a proteção do solo face a processos de erosão e a escorrências superficiais. A profundidade do nível freático durante o período de rega constitui um outro aspeto limitante da caracterização do solo.

Na Tabela 2.8, expõem-se alguns dos aspetos relativos às características físicas do solo em função dos métodos, processos e tipos de rega.

Tabela 2.8 - Métodos, processos e tipos de rega associados ao declive máximo e à profundidade do nível freático (adaptado de IPQ, 2005)

Métodos de rega	Processos e tipos de rega	Declive	Profundidade do nível freático
Escorrimento	Regadeiras de nível	3%	4,0 m
	Regadeiras inclinadas	8%	
	Planos inclinados	-	
	Faixas	7%	
Infiltração	Caldeiras	-	4,0 m*
	Sulcos	3 a 8%	
	Rega subterrânea	-	
	Rega gota-a-gota (superficial ou subterrânea)	-	
Aspersão	Aspersão convencional:		3,0 m
	• com equipamento estacionário	-	
	• com equipamento semovente	15%	
	Mini aspersão:		
	• estática ou micra aspersão	-	
	• dinâmica	-	

*Para a rega gota-a-gota varia entre 1,0 m e 1,5 m.

Importa referir que em zonas identificadas com alto risco de infiltração e percolação de águas superficiais, assim como em zonas sujeitas a inundações frequentes, não devem ser criadas instalações de rega com água residual urbana tratada.

Os solos, com elevados teores de metais pesados, não devem constituir uma opção para as práticas de regadio com água residual urbana tratada, dado que em causa está a saturação do solo, pela acumulação de metais provenientes do recurso hídrico em questão.

Os valores definidos para as concentrações de metais pesados nos solos destinados à rega com água residual urbana tratada estão dispostos na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 - Valores máximos admissíveis para concentrações de metais pesados nos solos a regar com água residual urbana tratada (mg/kg solo seco) (IPQ, 2005)

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

*Não aplicável para culturas destinadas a consumo humano ou pastagens. Para estes casos aplicam-se os valores referentes aos solos com pH entre 5,5 e 7,0.

Adicionalmente, o regadio com água residual urbana tratada deve ser efetuado de acordo com uma distância mínima entre o limite da zona regada e as zonas dedicadas à ocupação humana (Tabela 2.10), com o objetivo de assegurar a minimização do risco para a saúde pública e o bem-estar da população (e.g. propagação de odores).

De notar, que para o tipo de rega gota-a-gota não será necessária uma distância de segurança. Por outro lado, quando a rega é efetuada junto de uma fonte de água é aconselhável uma distância de 100 metros.

Tabela 2.10 - Distância mínima entre o limite da zona regada e zonas com ocupação humana (IPQ, 2005)

Método de rega	Tipo de zona	Concentração de coliformes fecais na água residual tratada (CF/100 mL)		
		$\leq 2 \times 10^2$	$2 \times 10^2 - 10^3$	$> 10^3$
Rega por aspersão	Habitação isolada	30 m	60 m	70 m
	Grupo de habitações	50 m	80 m	100 m
Outros métodos	Habitação isolada	10 m	20 m	30 m
	Grupo de habitações	30 m	60 m	70 m

A classificação de culturas suscetíveis de utilização é definida de acordo com o nível de risco de contaminação microbiológica (e.g. coliformes fecais e ovos de parasitas entéricos) gerada pela irrigação com água residual urbana tratada. Nesse sentido, este instrumento de controlo ambiental define para cada classe de culturas suscetíveis de utilização um tipo de tratamento adequado (Tabela 2.11).

Tabela 2.11 - Classificação das culturas suscetíveis de utilização (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.

Tabela 2.12 – Classes de culturas suscetíveis de utilização em função dos parâmetros de qualidade microbiológica da água a reutilizar e da linha de tratamento adequada a implantar (IPQ, 2005)

Classe	Coliformes fecais (NMP ou ufc/100 mL)	Ovos de parasitas entéricos (ovos/L)	Linha de tratamento adequado	Observações
A	100	1	<ul style="list-style-type: none"> • T2 + F + D • T3 + F + D 	-
B	200	1	<ul style="list-style-type: none"> • T2 + F + D • T3 + F + D 	O método de rega selecionado não deverá permitir o contacto com o público
C	10 ³	1	<ul style="list-style-type: none"> • T2 + F + D • T3 + F + D • L 	O método de rega selecionado não deverá permitir o contacto com os frutos e os mesmos, quando apanhados do solo, não deverão ser aproveitados
D	10 ⁴	1	<ul style="list-style-type: none"> • T2 + LM • T2 + F + D 	O método de rega selecionado não deverá permitir o contacto com o público.

Nota: ufc – unidades formadoras de colónias; T2 – Tratamento Secundário; F – Filtração; D – Desinfeção; T3 – Tratamento Terciário; L – Lagunagem, com sistema de 3 ou mais lagoas, com um tempo de retenção igual ou superior a 25 dias; LM – Lagoas de Maturação, com um tempo de retenção superior a 10 dias.

Importa salientar que, para todas as classes de culturas suscetíveis de utilização, a desinfeção deverá ser efetuada preferencialmente através de radiação ultravioleta ou através de ozonização, ao invés da cloragem.

- Minimização dos impactos ambientais e riscos para a saúde pública

A segurança na utilização de água residual tratada para a rega requer a redução do risco (1) de contaminação de águas subterrâneas e superficiais, (2) de contacto com o público e animais, (3) do transporte eólico de gotas e (4) da inalação de aerossóis, para além do tratamento adequado da água residual, da seleção de culturas em função da qualidade da água e do método de rega e da avaliação do local de aplicação.

Deste modo, a norma em questão define um guia de sinalização da instalação de rega com água residual urbana tratada, um cronograma de ciclos de rega, uma lista de equipamentos de proteção para os operadores e para os animais com acesso ao local, assim como valores da velocidade do vento que beneficiam a rega por aspersão.

- Controlo e monitorização

A utilização de água residual urbana tratada para rega transfere água para o biosistema solo-plantas, assim como nutrientes e outras substâncias que podem afetá-lo de modo positivo ou negativo, dependendo das necessidades das plantas e da capacidade tampão do solo. Por isso, a sustentabilidade a longo prazo desta prática inclui a imposição de monitorização do teor de nutrientes e de metais pesados (Tabela 2.13).

Tabela 2.13 - Valores máximos admissíveis para as quantidades de metais pesados, que podem ser introduzidos nos solos cultivados (IPQ, 2005)

Metal	Valor limite [(kg/ha)/ano]
Cádmio (Cd)	0,15
Chumbo (Pb)	15
Cobre (Cu)	12
Crómio (Cr)	4,5
Mercúrio (Hg)	0,1
Níquel (Ni)	3
Zinco (Zn)	30

Por conseguinte, a presente norma apresenta diversos documentos (e.g. boletins de análises à água aplicada pela instalação de rega e registo dos volumes de água, quantidades de nutrientes e de metais pesados introduzidos no solo) e planos (e.g. de fertilização e de monitorização ambiental), que auxiliam no controlo e monitorização de todos os parâmetros e aspetos relacionados com a rega efetuada com a água residual urbana tratada. Conjuntamente, este instrumento atribui responsabilidades a diversas entidades (e.g. entidades gestoras) e defini periodicidades mínimas para a determinação de diversos parâmetros (e.g. pH, salinidade, nutrientes, metais pesados)(IPQ, 2005; Zaidi, 2007).

No que concerne à **Recomendação n.º 2/2007 do IRAR**, a mesma tem como finalidade promover a utilização de água residual tratada de modo compaginável com a salvaguarda da saúde pública e do ambiente, dirigindo-se às entidades gestoras dos sistemas multimunicipais e municipais de saneamento de água residuais urbanas.

Estruturalmente, o conteúdo da mesma diverge entre diferentes pontos, salientando-se os seguintes (Tabela 2.14):

Tabela 2.14 - Informação relativa aos principais capítulos da Recomendação n.º 2 do IRAR

<p>Produção de água para reutilização</p> <ul style="list-style-type: none"> • O cumprimento dos parâmetros de descarga no meio recetor, previstos no Decreto-Lei n.º 152/97, poderá não ser suficiente, pelo que será necessária uma afinação do tratamento, resultando no cumprimento dos requisitos de qualidade adequados ao fim em causa

Distribuição de água para reutilização

- A entidade gestora pode alocar as atividades de distribuição (e.g. armazenamento, elevação e transporte) ou optar por permitir que uma entidade terceira;
- A atribuição a uma terceira entidade e venda de água apta a reutilizar deve ser objeto de contratualização;
- A distribuição da água a reutilizar deverá ser efetuada em redes específicas, devendo atender (1) aos tempos de retenção nas condutas, para evitar a deterioração da qualidade da água; (2) ao acordo dos pontos de entrega aos utilizadores finais, com aplicação de instrumentos de medição; e (3) à possibilidade da água ser distribuída através de meios moveis, pertencente à entidade gestora ou a terceiro.

Controlo da qualidade da água a reutilizar

- A reutilização de água implica a sua monitorização.
- A responsabilidade pelo cumprimento dos requisitos de qualidade da água a reutilizar e pelo controlo no ponto de entrega cabe à entidade que a entrega, devendo submeter os respetivos resultados ao Delegado Concelhio de Saúde (DCS).
- A Administração de cada Região Hidrográfica (ARH) devem definir as condições para a monitorização dos respetivos meios recetores da descarga de efluentes, cuja utilização tenha sido licenciada.
- Em situações de incumprimento, expectáveis ou não, devem informar imediatamente a entidade gestora e o DCS, assim como a reutilização de água deve ser interrompida.
- Os planos de monitorização da qualidade da água devem satisfazer os requisitos presentes na Norma Portuguesa NP:4434 e as recomendações da Organização Mundial de Saúde, em complemento à legislação aplicável.

Utilizadores de água apta a reutilizar

- A produção de água apta para reutilizar não visa a satisfação de necessidades básicas da generalidade dos cidadãos, pelo que não é uma obrigação de serviço público, nem justifica a imposição de disponibilização do serviço, nem direitos de exclusividade territorial às entidades gestoras, permitindo existir concorrentes.
- As entidades gestoras devem, portanto, garantir se há procura suficiente para recuperar os investimentos a realizar, particularmente com recurso à celebração prévia de contratos com os potenciais utilizadores.

Tarifário para a venda de água apta a reutilizar

- A reutilização de água é uma atividade regulada com tarifa não regulada.
- O tarifário de saneamento, aos utilizadores que entregam efluente, deve suportar os custos inerentes à recolha e tratamento da água necessário à sua descarga num meio recetor.
- O tarifário de venda de água, aplicado aos utilizadores que adquirem este produto deve suportar os custos suplementares das atividades de produção e distribuição de água apta a reutilizar.
- A sustentabilidade económica e financeira da atividade (de reutilizar água) deve ser garantida pelos custos a repercutir no tarifário de venda de água, nomeadamente custos gerais e custos de exploração.
- Os custos gerais incluem os custos relativos às instalações e equipamentos de tratamento necessários para afinação e sistema de distribuição (e.g. armazenamento, elevação e transporte).
- Os custos de exploração que englobam os custos de consumo energético, manutenção e reparação, bem como custos de pessoal e administrativos.
- A repartição de custos entre utilizadores deve ser feita individualmente, atendendo ao facto de o custo das infraestruturas de distribuição ser específico para cada utilizador.
- A recuperação dos custos de investimento deve ser repercutida pelo conjunto de utilizadores de modo gradual ao longo da vida útil das infraestruturas.
- O risco de investimento é significativo pois existem alternativas à reutilização, demonstrando incerteza na procura em termos temporais e quantitativos.

2.4.3. Instrumentos de Controlo Ambiental a Nível Internacional

Existem diversos instrumentos de controlo ambiental, que definem requisitos de qualidade, soluções de monitorização e controlo, por forma a salvaguardar a saúde pública e a contribuir para a homeostase ecológica.

De entre eles importa salientar as linhas de orientação propostas pela Organização Mundial de Saúde (2006), pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2010), pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (2012) e, também, pela Comissão Europeia (2017).

A **Organização Mundial de Saúde** (WHO) publicou recomendações relativas ao uso de água residual, com edições em 1973, em 1989 e em 2006. O âmbito de aplicabilidade da água residual tratada é limitado pelo uso agrícola e uso aquícola. As publicações incluem requisitos de qualidade, sugestões de tratamento adequado, monitorização e controlo dos critérios de qualidade, medidas de proteção da saúde pública e aspetos socioculturais, ambientais, económicos e políticos, bem como sugestões de planeamento e de implementação desta prática (WHO, 2006).

A **Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura** (FAO) desenvolveu diversos guias sobre a qualidade da água residual tratada a aplicar na agricultura e na aquicultura, nomeadamente em 1987, em 1999, em 2003 e em 2010. O conteúdo dos guias é análogo ao proposto pelas recomendações da WHO, diferenciando-se pela definição explícita dos critérios de qualidade exigidos e dos tipos de tratamento a aplicar nas diversas culturas agrícolas, tais como o tratamento por sistemas naturais projetados (e.g. lagoas de estabilização e leitos de macrófitas) e o tratamento aquífero do solo. Adicionalmente, os guias da FAO contém a análise económica e ambiental, bem como práticas de proteção da saúde pública de vários projetos de reutilização de água no mundo (FAO, 1992, 2003; Winpenny et al., 2010).

Relativamente à **Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos** (USEPA), a mesma publicou um guia de reutilização de água em 1980, que sofreu atualizações em 1992, em 2004 e em 2012. A última edição é estruturada em nove capítulos, sendo que os mesmos incluem considerações relativas ao planeamento e à gestão, aos tipos aplicação de água residual tratada, aos programas regulatórios de reutilização de água, às tecnologias de tratamento, para proteção da saúde pública e do ambiente, assim como retrata experiências de projetos de reutilização de água, que estão atualmente implantados. De notar, que também, apresenta estratégias para informar, sensibilizar e promover a participação e a aceitação pública (USEPA, 2012).

Estes guias serviram de base para a formulação de diversos regulamentos e normas em todo o mundo (Jaramillo & Restrepo, 2017).

A **Comissão Europeia**, para além das Diretivas Europeias face ao tratamento de água residual (e.g. 91/271/EEC transposta para o Decreto-Lei n.º 152/97), elaborou um instrumento legal para a reutilização de água, que estabelece os requisitos mínimos de qualidade, para a rega agrícola e a recarga de aquíferos, e inclui linhas de orientação sobre tipologias de tratamento, controlo e monitorização dos critérios de qualidade, gestão de riscos na saúde pública e no ambiente, assim como informação sobre os compostos de preocupação emergente (Gawlik & Alcalde-Sanz, 2017).

2.5. Requisitos de Qualidade, Monitorização e Segurança na Reutilização de Água

A janela de aplicabilidade da água residual, focada nas estratégias de proteção ambiental e de desenvolvimento económico, atende às características da qualidade da água, que têm de ser compatíveis com usos selecionados (Voulvoulis, 2018). Quando o referencial de qualidade da água não corresponde ao exigido, pelos requisitos legais e/ou pelas normas de aplicação, a água residual é submetida a tratamento e tecnologia eficientes (Asano et al., 2007).

Internacionalmente, existe um número cada vez mais significativo de requisitos exigentes nas diretrizes dedicadas à reutilização de água, nomeadamente de parâmetros químicos, cuja ação em baixas concentrações, pode não revelar efeitos tóxicos diretos, mas pode revelar, a longo prazo, efeitos crónicos e resultar em processos de bioacumulação (Salgot et al., 2006).

No entanto, segundo Maryam & Büyükgüngör, (2017), os requisitos de qualidade da água são pouco explícitos ou inexistentes e existem dificuldades em aceitar o planeamento de procedimentos e de novas tecnologias emergentes.

O presente subcapítulo serve para enquadrar os requisitos de qualidade, monitorização e segurança na reutilização da água, para cada tipo de utilização, com base nas diretrizes e recomendações existentes a nível nacional e internacional.

Uso Urbano

As diretrizes para o uso urbano encontram-se na Tabela 2.15, em função do uso não restrito, que exige um referencial de qualidade e distância de segurança superiores, e do uso restrito, que limita a exposição e contacto humano através de sinalética e vedações, por exemplo.

Tabela 2.15 - Requisitos de tratamento, qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada em usos urbanos (USEPA, 2012)

Uso Urbano	Tratamento	Referencial de qualidade	Monitorização	Distância de segurança
Não restrito	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Filtração • Desinfeção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – 6,0 a 9,0 • ≤ 10 mg/L CBO • ≤ 2 NTU* • Coliformes fecais não detetáveis /100 mL • 1 mg/L Cl₂ residual 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanal • CBO – semanal • Turbidez – contínuo • Coliformes fecais – diária • Residual de Cl₂ - contínuo 	15 m a 30m
Restrito	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfeção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – 6,0 a 9,0 • ≤ 30 mg/L CBO • ≤ 30 mg/L SST • ≤ 200 Coliformes fecais /100 mL • 1 mg/L de Cl₂ residual 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanal • CBO – semanal • SST – semanal • Coliformes fecais – diária • Residual de Cl₂ - contínuo 	30 m a 90 m

*A turbidez recomendada deve ser satisfeita antes da desinfeção. A turbidez média deve ser baseada num período de 24 horas. A turbidez nunca deve exceder 5 NTU. Se o parâmetro SST é usado em vez de turbidez, a média dos SST não deve exceder os 5 mg/L. Se as membranas forem usadas como o processo de filtração, a turbidez não deve exceder 0,2 NTU e a média dos SST não deve exceder 0,5 mg/L.

Uso Agrícola

Para além da NP 4434:2005, outros instrumentos de controlo ambiental assumem um papel notório na reutilização de água na rega, de entre eles, importa salientar as linhas de orientação propostas pela Comissão Europeia (2017), pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (2012), pela Organização Mundial de Saúde (2006) e, também, pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 1992).

As diretrizes para o uso agrícola apresentam-se nas tabelas seguintes (Tabela 2.16, Tabela 2.17, Tabela 2.18 e Tabela 2.19).

Tabela 2.16 - Requisitos de tratamento, qualidade e monitorização para a aplicação de água residual tratada em uso agrícola (Gawlik & Alcalde-Sanz, 2017)

Uso Agrícola	Tratamento	Referencial de Qualidade	Monitorização
<p>Classe A</p> <p>- Culturas alimentares, incluindo culturas para consumo em cru, cujas componentes comestíveis estão em contacto direto com a água residual tratada</p> <p>- Permissão para todo o tipo de rega</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário, filtração e desinfeção (tratamento terciário) 	<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 10 ufc/100 mL E. coli • ≤ 10 mg/L CBO₅ • ≤ 10 mg/L SST • ≤ 5 NTU 	<ul style="list-style-type: none"> • Legionela spp.: $\leq 1\ 000$ ufc/L, quando há risco de aerossolização • Nemátodes intestinais (ovos de helmintas): ≤ 1 ovo/L, quando a rega de pastoreio ou de culturas forrageiras para pecuária <p>Classe A:</p> <ul style="list-style-type: none"> • E. coli – semanal • COB₅ – semanal • SST – semanal • Turbidez – contínuo • Legionella spp. – semanal • Nemátodes intestinais – duas vezes por mês <p>Classes B,C e D:</p> <ul style="list-style-type: none"> • E- coli – semanal (classe B) ou duas vezes por mês (classe C e D) • COB₅ – mensal • SST – mensal
<p>Classe B</p> <p>- Culturas alimentares cujas porções comestíveis estão enterradas e, por isso, não estão em contacto direto com a água residual tratada</p> <p>- Permissão para todo o tipo de rega</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário e Desinfeção 	<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 100 cfu/100 mL E. coli <p>De acordo com a Diretiva 91/271/EEC, DL N.º 152/97:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≤ 25 mg/L CBO₅ • ≤ 35 mg/L SST 	
<p>Classe C</p> <p>- Culturas alimentares processadas; culturas para pastoreio</p> <p>- Rega gota-a-gota</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário e Desinfeção 	<ul style="list-style-type: none"> • $\leq 1\ 000$ cfu/100 mL E. coli <p>De acordo com a Diretiva 91/271/EEC, DL N.º 152/97:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≤ 25 mg/L CBO₅ • ≤ 35 mg/L SST 	
<p>Classe D</p> <p>- Culturas destinadas à produção industrial e de energia; sementeiras</p> <p>- Permissão para todo o tipo de rega</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário e Desinfeção 	<ul style="list-style-type: none"> • $\leq 10\ 000$ cfu/100 mL E. coli <p>De acordo com a Diretiva 91/271/EEC, DL N.º 152/97:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≤ 25 mg/L CBO₅ • ≤ 35 mg/L SST 	

Tabela 2.17 - Requisitos de tratamento, qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada em uso agrícola (USEPA, 2012)

Uso Agrícola	Tratamento	Referencial de qualidade	Monitorização	Distância de segurança
Culturas alimentares	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Filtração • Desinfeção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – 6,0 a 9,0 • ≤ 10 mg/L CBO • ≤ 2 NTU • Coliformes fecais não detetáveis /100 mL • 1 mg/L Cl₂ residual 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanal • CBO – semanal • Turbidez – contínuo • Coliformes fecais – diária • Residual de CL₂ - contínuo 	15 m a 30m
Culturas alimentares processadas Culturas não alimentares	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfeção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – 6,0 a 9,0 • ≤ 30 mg/L CBO • ≤ 30 mg/L SST • ≤ 200 Coliformes fecais /100 mL • 1 mg/L de Cl₂ residual 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanal • CBO – semanal • SST – semanal • Coliformes fecais – diária • Residual de CL₂ - contínuo 	30 m a 90 m

Tabela 2.18 - Requisitos de qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada em uso agrícola (WHO, 2006)

Uso Agrícola	Nível de proteção da saúde pública (DALY/ano) ^a	Log de inativação de patogénicos ^b	Número de ovos de helmintas por litro ^c
Rega não restrita	≤ 10 ⁻⁶		
Alface		6	≤1
Cebola		7	≤1
Rega restrita	≤ 10 ⁻⁶		
Agricultura intensiva (mecanizada)		3	≤1
Agricultura extensiva		4	≤1
Rega Localizada (gota a gota)	≤ 10 ⁻⁶		
Culturas crescimento rápido ^d		2	Sem recomendação
Culturas crescimento lento ^d		4	≤1

a – nível que assegura a proteção da saúde pública, medido em DALY (*Disability-Adjusted Life Year*), i.e., incapacidade de um indivíduo num ano de vida; b – concentração e tempo de contacto dos agentes de desinfeção na inativação de patogénicos, nomeadamente de rotavírus; c – o número de ovos de helmintas por litro deverá ser determinado conforme a estação do ano em que se efetua a rega agrícola e deverá ser inferior a 0,01 na presença de crianças com idade inferior a 15 anos; d – as culturas não devem ser apanhadas diretamente do solo.

Tabela 2.19 - Requisitos de tratamento e qualidade para a aplicação de água residual tratada em uso agrícola (FAO, 1992; Jaramillo & Restrepo, 2017)

Uso Agrícola	Tratamento	Referencial de qualidade
Culturas para consumo e não processadas comercialmente	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Filtração • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – 6,5 a 8,4 • < 10 mg/L CBO • < 2 NTU • < 14 Coliformes fecais detetáveis /100 mL
Culturas para consumo e não processadas comercialmente	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – 6,5 a 8,4 • < 30 mg/L CBO • < 30 mg/L SS • < 200 Coliformes fecais detetáveis /100 mL
Culturas que não são para consumo humano	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – 6,5 a 8,4 • < 30 mg/L CBO • < 30 mg/L SS • < 200 Coliformes fecais detetáveis /100 mL

Uso Recreativo e Ambiental

Tal como no uso urbano, as diretrizes para o uso recreativo dividem-se em utilizações restrita ou não restrita. Na Tabela 2.20 apresentam-se as diretrizes propostas para os usos recreativo e ambiental.

Tabela 2.20 - Requisitos de tratamento, qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada em uso recreativo (USEPA, 2012)

Uso	Tratamento	Referencial de qualidade	Monitorização	Distância de segurança
Recreativo não restrito	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Filtração • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – 6,0 a 9,0 • ≤ 10 mg/L CBO • ≤ 2 NTU* • Coliformes fecais não detetáveis /100 mL • 1 mg/L Cl₂ residual 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanal • CBO – semanal • Turbidez – contínuo • Coliformes fecais – diária • Residual de Cl₂ - contínuo 	150 m
Recreativo restrito	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> • ≤ 30 mg/L CBO • ≤ 30 mg/L SST • ≤ 200 Coliformes fecais /100 mL • 1 mg/L de Cl₂ residual 	<ul style="list-style-type: none"> • CBO – semanal • SST – semanal • Coliformes fecais – diária • Residual de Cl₂ - contínuo 	
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Variável • Secundário e desinfecção 	Variável, mas sem exceder: <ul style="list-style-type: none"> • ≤ 30 mg/L CBO • ≤ 30 mg/L SST • ≤ 200 Coliformes fecais /100 mL • 1 mg/L de Cl₂ residual 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanal • SST – semanal • Coliformes fecais – diária • Residual de Cl₂ - contínuo 	–

*A turbidez recomendada deve ser satisfeita antes da desinfecção. A turbidez média deve ser baseada num período de 24 horas. A turbidez nunca deve exceder 5 NTU. Se o parâmetro SST é usado em vez de turbidez, a média dos SST não deve exceder os 5 mg/L. Se as membranas forem usadas como o processo de filtração, a turbidez não deve exceder 0,2 NTU e a média dos SST não deve exceder 0,5 mg/L.

Uso Industrial

As diretrizes propostas para o uso industrial (Tabela 2.21) consideram a reutilização de água em processos de refrigeração e de recirculação.

Tabela 2.21 - Requisitos de tratamento, qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada em usos industriais (USEPA, 2012)

Uso industrial	Tratamento	Referencial de qualidade	Monitorização	Distância de segurança
Refrigeração de passagem única	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – 6,0 a 9,0 • ≤ 30 mg/L CBO • ≤ 30 mg/L SST • ≤ 200 Coliformes fecais /100 mL • 1 mg/L de Cl₂ residual 	<ul style="list-style-type: none"> • pH – semanal • SST – semanal • Coliformes fecais – diária • Residual de CL₂ - contínuo 	90 m
Recirculação em Torres de refrigeração	<ul style="list-style-type: none"> • Secundário • Desinfecção (possibilidade de necessitar de coagulação química e filtração) 	Variável, depende da recirculação: <ul style="list-style-type: none"> • pH – 6,0 a 9,0 • ≤ 30 mg/L CBO • ≤ 30 mg/L SST • ≤ 200 Coliformes fecais /100 mL • 1 mg/L de Cl₂ residual 		90 m

Recarga de aquíferos

As diretrizes para a recarga de aquíferos encontram-se na Tabela 2.22, atendendo se a utilização de água é para usos potáveis ou não potáveis.

Tabela 2.22 - Requisitos de tratamento, qualidade, monitorização e segurança para a aplicação de água residual tratada na recarga de aquíferos (USEPA, 2012)

Recarga de Aquíferos	Tratamento	Referencial de qualidade	Monitorização	Distância de segurança
Não potável	<ul style="list-style-type: none"> Localização específica e dependente do uso Primário para aspersão Secundário para injeção 	Localização específica e dependente do uso	Depende do tratamento e uso	Depende da localização específica
Potável, com recarga por aspersão	<ul style="list-style-type: none"> Secundário Filtração Desinfecção Tratamento aquífero do solo 	<ul style="list-style-type: none"> Coliformes fecais não detetáveis /100 mL 1 mg/L de Cl₂ residual 	Inclui, mas não é condicionado ao seguinte: <ul style="list-style-type: none"> pH – diário Coliformes fecais – contínuo Residual de Cl₂ – contínuo 	Tempo de retenção de 2 meses entre a introdução por aspersão e a captação para ETA
Potável, com recarga por injeção	<ul style="list-style-type: none"> Secundário Filtração Desinfecção Tratamento terciário 	<ul style="list-style-type: none"> pH – 6,5 a 8,5 ≤ 2 NTU ≤ 2 mg/L COT da água residual original 	<ul style="list-style-type: none"> Requisitos de água de abastecimento – trimestral COT – semanal Turbidez – contínuo 	Tempo de retenção de 2 meses entre a introdução por injeção e captação para ETA
Potável, aumento de reservatórios de água de superfície	<ul style="list-style-type: none"> Secundário Filtração Desinfecção Tratamento terciário 	<ul style="list-style-type: none"> Confronto com os requisitos de água de abastecimento 	<ul style="list-style-type: none"> Monitorização não é requerida para vírus e parasitas: remoção é determinado pelo tratamento 	Tempo de retenção de 2 meses entre a introdução e captação para ETA

Em síntese, as diretrizes e recomendações propostas pelas diferentes entidades e para as diversas aplicações de água, apresentam níveis de exigência diferentes, mas têm em comum os seguintes aspetos:

- Combinação de processos de tratamento com os requisitos da qualidade da água (Tabela 2.23 e Figura 2.3);
- Requisitos de desinfecção e indicadores de monitorização (Figura 2.4);
- Requisitos de qualidade da água afetos aos sólidos suspensos totais e à matéria orgânica (Figura 2.5).

Tabela 2.23 - Tipos de combinação de processos de tratamento

Tipo de combinação	S+D	S+F+D	S+D+F+T
Número de combinações	2	3	4

*S – Tratamento Secundário, D – Desinfecção; F – Filtração; T – Tratamento Terciário

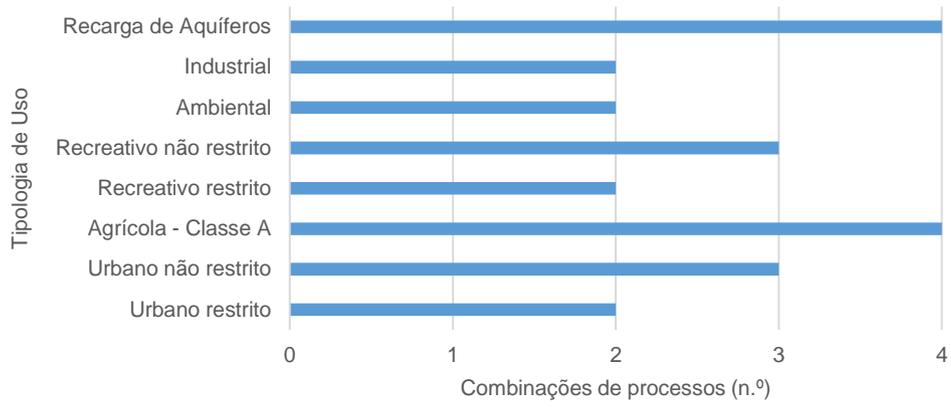


Figura 2.3 - Combinações mais exigentes para os diferentes usos

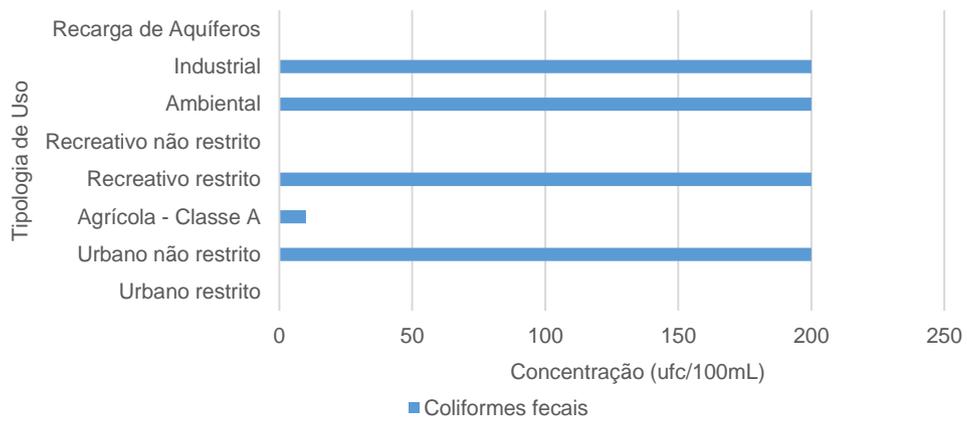


Figura 2.4 - Valores mais exigentes propostos para o parâmetro coliformes fecais

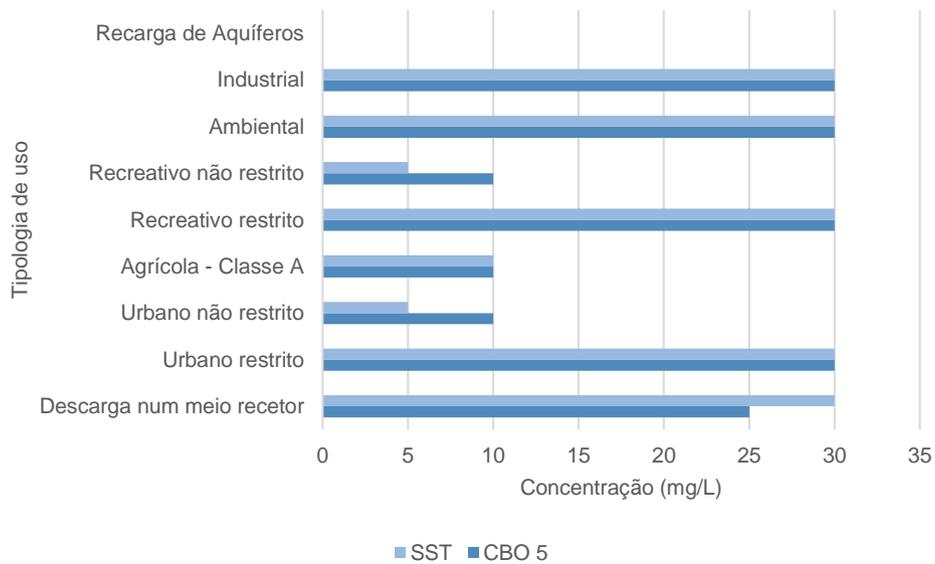


Figura 2.5 - Valores mais exigentes propostos para os parâmetros SST e CBO₅

2.6. Sustentabilidade Ambiental vs. Economia Circular

Reutilizar água é uma opção viável, que constitui uma solução sustentável para as gerações presentes e vindouras. Esta prática permite reduzir pressões quantitativas e qualitativas sobre as massas de água, solo e ar, refletindo ganhos ambientais e potenciando a exploração de novas oportunidades, particularmente de benefícios socioeconómicos (Marecos; Albuquerque, 2010; Vergine et al., 2017; World Water Council, 2018).

Por um lado, incentiva-se uma estratégia de proteção e conservação ambiental, na qual a reutilização da água evita a descarga de matéria poluente nos meios recetores naturais (e.g. solo e água), permitindo a recuperação de recursos (e.g. água, energia, nutrientes), o equilíbrio dinâmico dos ecossistemas e o aumento da resiliência face às alterações climáticas (e.g. redução dos gases de efeito estufa, via processos de compostagem de lamas e captura de biogás) (Asano et al., 2007; EPA, 2000; Hosseini, Wahid, & Aghili, 2013; Maryam & Büyükgüngör, 2017; Prouty, Mohebbi, & Zhang, 2018; Salgot & Folch, 2018; UN-Water, 2018).

Por outro lado, fomenta-se uma estratégia de desenvolvimento económico, na qual existe um volume de água de abastecimento passível de ser reduzido através da recuperação, reutilização e/ou reciclagem de água residual, que atrai potenciais utilizadores e partes interessadas, nomeadamente cientistas, decisores políticos e setores da atividade empresarial. Outras vantagens económicas prendem-se com a redução do número de fontes suplementares de água e infraestruturas inerentes, e com a disponibilidade de água em zonas urbanas, cujo fornecimento é crucial e o preço da água é elevado (Asano et al., 2007; Maryam & Büyükgüngör, 2017; Salgot & Folch, 2018).

Nesta abordagem holística, o objetivo de reutilizar água não se limita à redução da poluição. De facto, pretende-se reconhecer o valor da água residual ou, ainda, obter um meio adicional para pagar a sua gestão no ciclo urbano da água (UN - Global Water Report, 2017).

O contributo deste recurso para a sustentabilidade económica é indissociável da transição da economia tradicional para a economia circular (SgROI, Vagliasindi, & Roccaro, 2018). A implementação de um modelo de economia circular otimiza a utilização dos recursos e maximiza o seu valor, promovendo a prosperidade e a viabilidade económica dos centros urbanos, assim como assegura o bem-estar da população (Bonato & Orsini, 2018). Assim, a circularidade da economia, para além de minimizar a utilização de matérias-primas, ao reutilizar e regenerar os subprodutos como novos recursos, potencia a manutenção dos mesmos no sistema urbano (Voulvoulis, 2018).

As *smart sustainable cities* atuam na gestão integrada dos aspetos sociais, económicos, ambientais e, inclusive, tecnológicos, atendendo à sustentabilidade do nexus energia-alimentos-água-clima. Nesse sentido, são consideradas, também, cidades circulares, i.e., cujo funcionamento urbano é inovador e reinventado através de uma abordagem holística e, predominantemente, descentralizada (Bonafé & Graneli, 2018; Bonato & Orsini, 2018; Lehmann, 2018).

As cidades circulares evoluíram de consumidores de bens e serviços e de produtores de resíduos, para cidades resilientes, que produzem a sua energia renovável e armazenam os seus próprios recursos internos (Hoek, Fooij, & Straker, 2016).

Atendendo à circularidade das *smart sustainable cities*, as ETAR tornaram-se, lentamente, num importante nexus das mesmas (Figura 2.6) (Neczaj & Grosser, 2018).

De acordo com Voulvoulis (2018), a reutilização de água é uma opção *win-win*. Com efeito, a água residual, que outrora era uma adversidade para saúde pública e para o ambiente, é atualmente uma fonte de recursos de interesse emergente, que incluem não só água, energia e nutrientes, mas, também, outros recursos, nomeadamente fibras de celulose, biopolímeros, bioplásticos e proteínas (SgROI, Vagliasindi, & Roccaro, 2018; Hoek et al., 2016; Wielemaker, Weijma, & Zeeman, 2018).

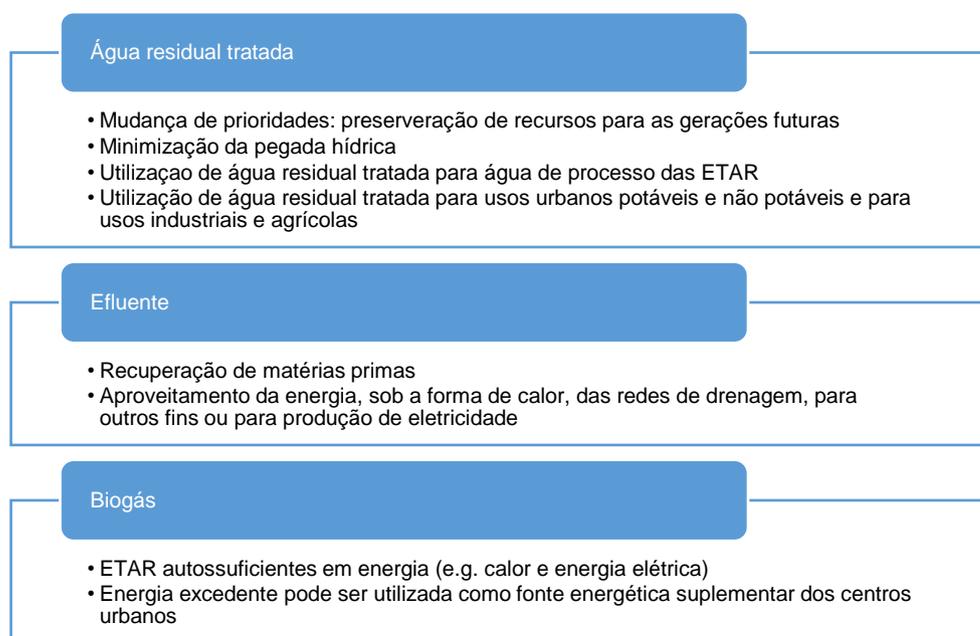


Figura 2.6 - Recursos e oportunidades do nexus smart sustainable cities – ETAR (Neczaj & Grosser, 2018)

2.7. Perceção e Aceitação Pública nos Projetos de Reutilização de Água

A perceção pública relativa a qualquer sistema de infraestrutura urbana define o seu êxito, i.e., define a sua utilização ou a sua rejeição. Nesse sentido, o envolvimento das comunidades nos processos de decisão dos projetos de reutilização pública é crucial (Ross, Fielding, & Louis, 2014; Smith, Brouwer, Jeffrey, & Frijns, 2018; Wilcox, Nasiri, Bell, & Rahaman, 2016).

A maior conscientização pública acerca de problemáticas relacionadas com as alterações climáticas (e.g. escassez hídrica) e o sucesso de diversos projetos de reutilização de água têm contribuído para uma maior aceitação pública da utilização de água residual tratada. Outros fatores incluem a familiarização das tecnologias implantadas nos projetos de reutilização e a denominação de “água reciclada”, “água mais”, “água purificada” ou “nova água” à água residual tratada (Lautze, Stander, Drechel, Silva, & Keraita, 2014; Voulvoulis, 2018).

Segundo Smith et al., (2018) e Lautze et al., (2014), a aceitação pública é maior quando: (1) o grau de contacto humano é menor; (2) a proteção da saúde pública é indiscutível; (3) a proteção ambiental, incluindo a conservação de água, é evidente; (4) o custo do tratamento e da distribuição é satisfatório; (5) a perceção da água residual enquanto fonte da água a reutilizar é mínima; (6) a consciência de que

o fornecimento de água nos centros urbanos é um problema real, constituindo a água residual tratada uma fonte suplementar de água; (7) a noção de que a qualidade da água residual tratada é elevada; (8) a capacidade técnica do tratamento convencional é ineficiente face aos compostos de preocupação emergente (e.g. disruptores endócrinos); (9) o grau de confiança das entidades responsáveis e/ou autoridades competentes, pela qualidade da água e pela tecnologia utilizada, é maior; (10) o quadro regulamentar, para reutilizar água, é baseado em normas e/ou regulamentos internacionais reconhecidos e amplamente difundidos a nível global.

O desconforto público pode ser reduzido, através da realização de campanhas de sensibilização e da adoção de técnicas de marketing social (e.g. divulgação de projetos de reutilização água bem sucedidos), que promovam a perceção de risco e a mudança de comportamento (Lautze et al., 2014).

3. TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO PARA PROTEÇÃO DA SAÚDE PÚBLICA E DO AMBIENTE

O tratamento convencional (Figura 3.1) numa ETAR inclui o tratamento preliminar e o tratamento primário, para remoção de matéria volátil (e.g. óleos e gorduras) e de matéria suspensa sedimentável (orgânica e inorgânica), compreendendo a jusante destas duas etapas o tratamento secundário. O tratamento secundário (lamas ativadas ou outro), permite a remoção de constituintes dissolvidos e coloidais da água residual (Asano et al., 2007).

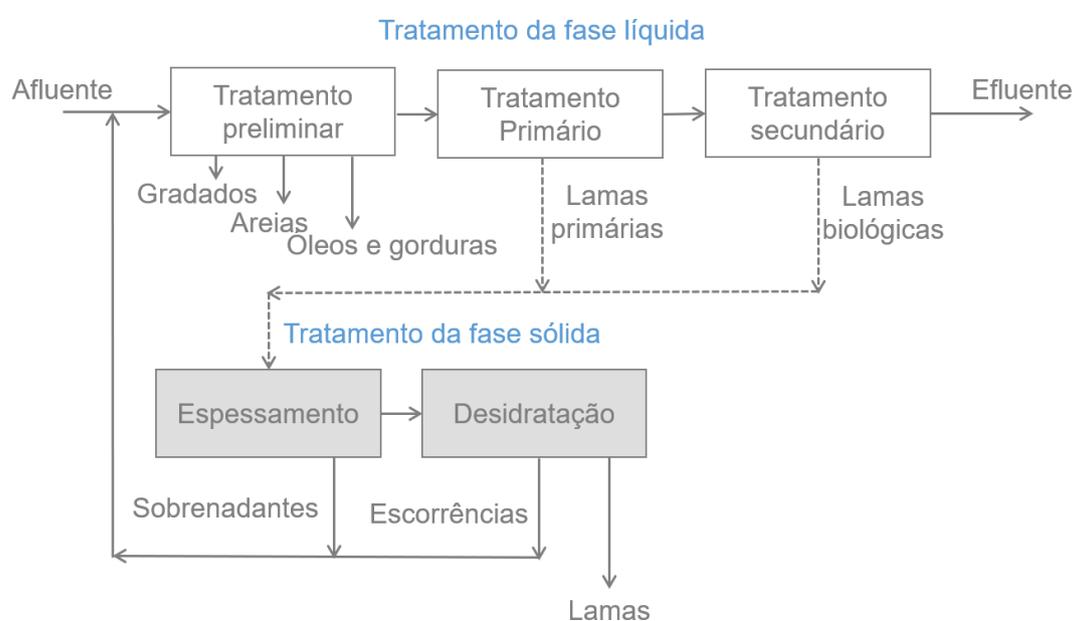


Figura 3.1 – Linha de tratamento característica de uma ETAR

A oxigenação do efluente primário promove o crescimento de microrganismos nos flocos biológicos conhecidos como “lamas ativadas”, que ao tornarem-se suficientemente pesados são separados da água residual por sedimentação (Metcalf & Eddy, 2014).

O efluente secundário é caracterizado pela presença de diversos constituintes residuais, nomeadamente (1) matéria orgânica e inorgânica suspensa e matéria coloidal particulada, (2) constituintes orgânicos dissolvidos, (3) constituintes inorgânicos dissolvidos e (4) constituintes biológicos, que necessitam de tratamento adicional antes de o mesmo ser descarregado num meio recetor sensível ou ser reutilizado (Anexo B e Anexo C) (Metcalf & Eddy, 2014).

O tratamento adicional do efluente secundário é denominado por tratamento terciário sendo, também, designado como tratamento de afinação (Roccaro, 2018; Miquel Salgot & Folch, 2018). Este tipo de tratamento inclui, geralmente, remoção de nutrientes, processos de filtração e a desinfecção final (Asano et al., 2007).

Complementarmente, o tratamento avançado permite remover a totalidade dos sólidos dissolvidos e, também, constituintes vestigiais, por forma a cumprir os requisitos necessários para a reutilização de água em determinadas aplicações específicas (Asano et al., 2007).

Não obstante, quando o padrão da qualidade da água residual tratada requerido é elevado, é importante melhorar o tratamento primário e/ou o tratamento secundário (e.g. via adição de coagulante ou de

floculante, que favorece a retenção de sólidos e a remoção de nutrientes), beneficiando a jusante os processos de tratamento terciário (Roccaro, 2018).

3.1. Tecnologias de Tratamento

Atendendo à importância da qualidade da água no tratamento da água residual e na reutilização da mesma, numa ampla janela de aplicabilidades, existem diferentes tecnologias de tratamento capazes de remover diferentes tipos de contaminantes, com diferentes níveis de exigência de tratamento (Asano et al., 2007).

Alguns dos processos de tratamento mais implantados estão dispostos na Tabela 3.3, bem como quais os constituintes residuais que removem (e.g. nutrientes, sólidos suspensos totais – SST, sólidos dissolvidos totais – SDT, agentes patogénicos, metais, contaminantes emergentes), os subprodutos que originam, a competência exigida aos operadores, a complexidade relativa das tecnologias, o nível de maturidade das tecnologias e o custo que lhes é associado (Roccaro, 2018).

A **remoção efetiva de azoto (N) e fósforo (P)** inclui modificações nos sistemas de tratamento biológico, que favorecem a atividade dos microrganismos presentes. A remoção biológica de azoto é conseguida através de dois processos, nomeadamente a nitrificação e a desnitrificação. O processo de nitrificação permite converter a amónia em nitrito e, de seguida, transformá-lo em nitrato, utilizando bactérias autotróficas (e.g. Nitrosomas e Nitrobatérias). O nitrato, posteriormente, é convertido em azoto gasoso, num processo designado por desnitrificação que inclui processos heterotróficos e autotróficos. A remoção biológica de fósforo inclui um processo constituído por duas fases devido à ação dos organismos acumuladores de polifosfatos, os OAPs. Na primeira fase, os OAPs libertam polifosfatos para o efluente, em condições anaeróbias, enquanto consomem matéria orgânica sob a forma de ácidos gordos voláteis. Na segunda fase, os polifosfatos libertados são assimilados nas células dos OAPs, na presença de condições aeróbias. Portanto, a remoção biológica de fósforo é conseguida quando a presença da zona anaeróbia está a montante da zona aeróbia (Ye et al., 2018).

De notar, que a remoção de fósforo pode ser conseguida através da sua precipitação química, via adição de coagulante, cuja base em alumínio ou em ferro permite atingir eficiências de 95%. No entanto, a remoção química de fósforo é caracterizada por uma produção de lamas e custo elevados (Roccaro, 2018).

A **remoção de sólidos suspensos totais (SST)**, com subsequente redução de turbidez e carência de oxigénio, pode ser garantida através da implantação de tecnologias de separação por membranas, nomeadamente Microfiltração (MF) e Ultrafiltração (UF). As membranas aplicadas na Microfiltração são comumente utilizadas nos Reatores Biológicos de Membranas (RBM), e, também, utilizadas como pré-tratamento para a Nanofiltração (NF) e a Osmose Inversa (OI). Contudo, a UF é melhor enquanto pré-tratamento, pois é mais eficiente na remoção de Carbono Orgânico Total (COT), de SST e de turbidez, reduzindo o potencial de colmatação para as membranas da NF e da OI. A tecnologia presente nas membranas da NF e da OI possibilita a obtenção de um permeado de qualidade para a reutilização, dado que as mesmas removem, de modo efetivo, compostos de baixo peso molecular e sais dissolvidos, que incluem a remoção de nutrientes (e.g. fosfato, amónia, ureia e nitrato) (Racar et al.,

2017). Acresce o facto do nível da qualidade do permeado servir para o processamento de alimentos, no caso da nanofiltração (Salehi, 2014), e produzir a água pura, no caso da osmose inversa (Lau & Ríos, 2018).

De notar que os RBM têm capacidade para operar sob condições de elevadas cargas afluentes de SST, produzindo um efluente de elevada qualidade. Esta tecnologia tem sido aplicada para o tratamento de água residual como uma potencial tecnologia para o tratamento de águas residuais municipais, que visa a reutilização, representando uma alternativa de tratamento biológico, ao conjugar o tratamento convencional de lamas ativadas com a tecnologia de filtração por membranas (Falizi et al., 2018).

Para além das tecnologias de membranas, existem outras opções de filtração para remoção de SST, nomeadamente, as tecnologias de filtração em profundidade e de filtração superficial (Metcalf & Eddy, 2014). Os processos de filtração em profundidade são, amplamente, implantados como complemento da remoção de SST (incluindo CBO) de efluentes cujo destino é a reutilização, sendo utilizados (1) para assegurar uma desinfeção efetiva; (2) como pré-tratamento das tecnologias de afinação (e.g. tecnologias de membranas, adsorção co carvão ativado, ou processos de oxidação avançada); e (3) para remoção de fósforo quimicamente precipitado (Asano et al., 2007). A filtração em areia, por exemplo, é de operação simples e remove agentes patogénicos como coliformes fecais e vírus (Sanctis et al., 2017). A filtração superficial é uma alternativa à filtração em profundidade, enquanto pré-tratamento da MF e da desinfeção UV e para remoção de algas provenientes de sistemas lagunares, especialmente de lagoas de estabilização, utilizando comumente filtros de pano, para MF e UF, e de Cartridge, para OI (Asano et al., 2007).

Na Tabela 3.1, encontram-se listadas os principais tipos de filtração.

Tabela 3.1 - Tipos de filtração e principais características (Asano et al., 2007; Metcalf & Eddy, 2014; USEPA, 2012)

Tipos de filtros	Força motriz aplicada	Tamanho nominal do poro (μm)	Contaminantes alvo para remoção
Filtração em profundidade			
Filtração em profundidade	Gravítico ou pressão diferencial	60 - 300	SST, turbidez, alguns oocistos e cistos de protozoários
<ul style="list-style-type: none"> Com processo de lamas ativadas a montante: SST = 2-8 mg/L e Turbidez = 0,5 – 4 NTU Com processo de lamas ativadas, incluindo remoção biológica de nutrientes: SST = 1 – 4 mg/L e Turbidez = 0,3 – 2 NTU 			
Filtração superficial			
Filtração superficial	Gravítico	5 - 20	SST, turbidez, alguns oocistos e cistos de protozoários
<ul style="list-style-type: none"> Com processo de lamas ativadas a montante: SST = 1 – 4 mg/L e Turbidez = 0,5 – 2 NTU 			
Filtração por Membranas			
Microfiltração	Pressão diferencial	0,05	SST, turbidez, alguns oocistos e cistos de protozoários, algumas bactérias e alguns vírus
<ul style="list-style-type: none"> Com processo de lamas ativadas a montante: SST = 0 – 1 mg/L e Turbidez = 0,1 – 0,4 NTU 			
Ultrafiltração	Pressão diferencial	0,002 – 0,050	Macromoléculas, coloides, maioria das bactérias, alguns vírus, proteínas
Nanofiltração	Pressão diferencial	< 0,002	Micromoléculas, dureza, vírus
Osmose inversa	Pressão diferencial	< 0,002	Nanomoléculas, cor, dureza, sulfatos, nitratos, sódio, outros iões
MBR	Pressão diferencial	Variável	Depende do tipo de membrana
<ul style="list-style-type: none"> CBO = <1 – 5 mg/L, SST = <1 – 5 mg/L e Turbidez = 0,1 – 1 NTU 			

A **remoção de metais** preconizada em sistemas mecânicos, como as lamas ativadas que utilizam mecanismos físicos, químicos e biológicos, ou em sistemas lagunares apresentam eficiências que variam entre 24% e 82% (Muga & Mihelcic, 2008). Por outro lado, a remoção de metais efetuada em tecnologias de separação por membranas, nomeadamente através de NF e OI, apresentam eficiências a partir de 70%, ultrapassando, por vezes, os 90% (Kim et al., 2018).

Os microcontaminantes incluem contaminantes emergentes tais como pesticidas, compostos farmacêuticos ativos e xenobióticos (e.g. disruptores endócrinos e produtos de higiene pessoal) (Fatta-Kassinos, Dionysiou, & Kümmerer, 2016; Kim et al., 2018; Rizzo, 2011; Roccaro, Sgroi, & Vagliasindi, 2013).

A **remoção de micropoluentes** é ineficiente via tratamento convencional, uma vez que os sistemas de oxidação biológica não foram especificamente projetados para lidarem com a sua introdução e, portanto, para desempenharem essa atividade. Acresce o facto de, conseqüentemente, uma elevada porção de micropoluentes e dos seus metabolitos não ser eliminada nas ETARu, afetando as massas

de água em que são descarregados, com riscos ambientais e prejuízos para a saúde humana (Mecha et al., 2017; Moreira et al., 2016; Rizzo, 2011; Rizzo, Fiorentino, & Anselmo, 2013; Roccaro et al., 2013). Assim, para a eliminação de microcontaminantes, salientam-se, entre diversas opções tecnológicas, as tecnologias de separação por membranas, a adsorção com carvão ativado, a ozonização e os processos avançados de oxidação (PAOs) (Fatta-Kassinos et al., 2016; Reungoat et al., 2012; Roccaro et al., 2013).

A adsorção é um processo de transferência de massa, no qual um adsorvente concentra as substâncias (contaminantes) presentes no efluente, produzindo um efluente capacitado para a reutilização de água (Fatta-Kassinos et al., 2016). A adsorção com carvão ativado granular (CAG) é tipicamente utilizado como uma filtração média, enquanto a adsorção com carvão ativado em pó é efetuada através da sua adição numa etapa das etapas de tratamento (e.g. lamas ativadas). De notar que as tecnologias de carvão ativado, granular ou em pó, são preferenciais nos países europeus, para a remoção de microcontaminantes, com eficiências superiores a 80% (Bui, Vo, Ngo, Guo, & Nguyen, 2016). Outra opção viável é o carvão ativado biológico (O₃/CAB), tipicamente utilizado no tratamento de água de abastecimento, cuja aplicabilidade inclui uma pré-ozonização seguida por uma filtração média com CAG, permitindo a remoção da maioria dos compostos orgânicos biodegradáveis, nomeadamente os subprodutos formados pela ozonização (e.g. bromatos) (Reungoat et al., 2012; Roccaro, 2018; Roccaro et al., 2013).

Apesar dos seus subprodutos, o ozono tem provado ser o desinfetante mais efetivo e tem sido, amplamente, utilizado para inativar agentes patogénicos (e.g. bactérias, vírus, protozoários), bem como remover e oxidar orgânicos refratários (redução de CQO). O seu efeito germicida consiste na detioração das membranas plasmáticas dos microrganismos, resultando em processos de lise celular e na sua, conseqüente, destruição. Existem dois mecanismos para a desinfeção com ozono ocorrer, dependendo das características do efluente, nomeadamente: (1) oxidação direta dos compostos pelas moléculas de ozono e (2) uma reação que envolva os radicais da decomposição do ozono. Adicionalmente, a matéria particulada transforma o ozono em radicais hidroxilo e, portanto, é possível que a ozonização do efluente seja, de facto, um PAO (Lazarova, Liechti, Savoye, & Hausler, 2013).

Os PAOs têm sido investigados para remover microcontaminantes do efluente, bem como para reduzir a carga orgânica final, medida através do carbono orgânico total, da carência química de oxigénio e da carência bioquímica de oxigénio. Estes processos incluem a combinação de oxidantes (e.g. H₂O₂, O₃), radiação ultravioleta (UV), catalisadores (e.g. Fe²⁺, TiO₂) e ultrassons. A sua aplicação numa ETARu permite, para além da remoção de microcontaminantes, a desinfeção do efluente, sendo uma alternativa aos desinfetantes químicos tradicionais (e.g. cloro, dióxido de cloro, ozono), com a produção de subprodutos tóxicos (Rizzo, 2011). Nesse sentido, os PAOs devem ser implantados entre processos biológicos, por forma a reduzir a competição com a matéria orgânica remanescente da fase de pré-tratamento, assim como degradar os subprodutos oxidantes resultantes da fase de pós-tratamento (Bui et al., 2016).

O processo de radiação UV não é efetivo para a remoção de micropoluentes e de elevadas cargas de SST. Contudo, quando o mesmo é conjugado com H₂O₂ ou com O₃, a eficiência de remoção aumenta de modo significativo, através da formação de radicais oxidantes livres. A combinação O₃/UV apresenta

o maior o potencial de oxidação e confere uma barreira, para os contaminantes, constituída por duas camadas. Contudo, a necessidade de elevados consumos de energia limita a sua aplicabilidade. A combinação UV/ H₂O₂ é a mais difundida de entre as opções dos PAOs (Bui et al., 2016; Roccaro, 2018).

A **remoção de agentes patogénicos** de um efluente, para além das tecnologias de separação por membranas ou dos sistemas naturais projetados, como o tratamento aquífero no solo e a construção zonas húmidas (e.g. leitos de macrófitas), que desempenham um papel relevante, requerem a presença de outros processos físico-químicos como a cloragem, por exemplo (Roccaro, 2018).

De notar, que a radiação UV tem sido amplamente utilizada em processos de desinfeção, sendo preferencial à desinfeção com cloro dado que os seus subprodutos (e.g. organoclorados) foram considerados promotores de potenciais produtos carcinogénicos (Rizzo et al., 2013).

A desinfeção com cloro pode ocorrer na forma de cloro gasoso, hipoclorito de sódio ou de cálcio ou, ainda, sob forma de cloraminas. Este tipo de desinfeção é de facto o processo mais difundido, constituindo uma solução económica. O cloro gasoso ao dissolver-se, rapidamente, na água hidrolisa-se a ácido clorídrico e ácido hipocloroso. Estes ácidos atuam sobre a estrutura química das enzimas das bactérias presentes no efluente, inativando-as através da inibição das suas funções vitais. Por isso, trata-se de um poderoso bactericida (Collivignarelli, Abbà, Benigna, Sorlini, & Torretta, 2018). No entanto é um agente tóxico e corrosivo, cujo manuseamento exige cuidado, para além de não ser um desinfetante efetivo na remoção de protozoários (Collivignarelli, Bertanza, & Pedrazzani, 2000; Marecos; Albuquerque, 2010).

De notar que de acordo com a Recomendação IRAR n.º 5/2007 a escolha do desinfetante a utilizar na cloragem depende de diversos fatores, entre eles: quantidade necessária de desinfetante, condições existentes no local, facilidade de operação, condições de segurança e do custo associado. Adicionalmente, utiliza-se, normalmente, cloro gasoso em grandes instalações, dado ser o mais económico, e utiliza-se hipoclorito de sódio em pequenas instalações, uma vez que é o produto de maior simplicidade de utilização. O hipoclorito de cálcio raramente é utilizado, sendo geralmente aplicado a instalações cujo abastecimento de eletricidade seja limitado (Baptista & Escudeiro, 2008).

O dióxido de cloro é outro agente anti bactericida cujo poder desinfetante é igual ou superior ao provocado pela desinfeção preconizado pelo cloro. Este gás amarelo esverdeado é caracterizado por libertar odores intensos e por ser muito instável (Collivignarelli et al., 2018).

Uma alternativa à desinfeção com cloro é a desinfeção com ácido peracético, cujo poder oxidante é superior ao do cloro gasoso e do dióxido de cloro (Dell'Erba, Falsanisi, Liberti, Notarnicola, & Santoro, 2007). O ácido peracético resulta de uma solução simples, nomeadamente da mistura de ácido acético com peróxido de hidrogénio (também desinfetante) (Kitis, 2004). Importa referir que, tal como outros químicos desinfetantes, a inativação microbiológica é afetada com o aumento da temperatura do efluente. Outros aspetos que colocam em causa esta solução são o aumento da carga orgânica no efluente, que favorecem o reaparecimento de microrganismos; o custo superior face a processos de cloragem; a reduzida eficiência na remoção de alguns vírus e parasitas e, também, a ausência de residual de desinfeção (De Souza, Valdez, Jeranoski, De Sousa Vidal, & Cavallini, 2015).

Na Tabela 3.2 apresentam-se as vantagens e desvantagens associadas aos processos de desinfecção.

Tabela 3.2 - Vantagens e desvantagens de processos de desinfecção (Collivignarelli et al., 2000; Collivignarelli et al., 2018; De Souza et al., 2015; Dell'Erba et al., 2007; Marecos; Alburquerque, 2010; Kitis, 2004)

Vantagens	Desvantagens
Desinfecção com Cloro	
<ul style="list-style-type: none"> Fácil operação e económico; Flexibilidade de dosagem; Tecnologia consolidada; Permanência de residual de cloro; Elevada inativação bactericida e virucida; 	<ul style="list-style-type: none"> Elevado tempo de contacto; Formação de subprodutos (e.g. organoclorados); Muito corrosivo; Manuseamento perigoso no transporte, armazenamento e utilização; Cloro residual afeta negativamente a rega e o meio aquático; Incapacidade para inativar alguns protozoários;
Desinfecção com Dióxido de cloro	
<ul style="list-style-type: none"> Mais efetivo que o cloro: menor tempo de contacto e Menor produção de organoclorados (não reage com substâncias presentes na água); Efeito residual de longa duração; 	<ul style="list-style-type: none"> Formação de subprodutos; Produção na instalação devido à sua instabilidade e reatividade; Custos médio-elevados na sua gestão; Aumento da concentração de sólidos no efluente;
Desinfecção com Ozono	
<ul style="list-style-type: none"> Elevada capacidade de inativação de agentes patogénicos; Oxidação de poluentes orgânicos persistentes, de ferro e manganês; Reduzido tempo de contacto; Flexibilidade: produção ajustável 	<ul style="list-style-type: none"> Sem residual de desinfecção no efluente; Formação de subprodutos (e.g. bromatos); Elevado consumo de energia; Custos de investimento e O&M relativamente elevados (e.g. pessoal especializado). Tóxico e corrosivo – medidas de segurança e adequada seleção de materiais
Desinfecção com Ácido Peracético	
<ul style="list-style-type: none"> Concentração residual; Implantação de tecnologia simples e económica; Elevada inativação bactericida e virucida; 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento das concentrações de CBO₅ e de CQO no efluente; Formação de subprodutos (e.g. trihalometanos); Possibilidade de reaparecimento microbiológico devido à persistência de ácido acético; Inativação reduzida de protozoários (e.g. <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i>);
Desinfecção com Radiação UV	
<ul style="list-style-type: none"> Elevada capacidade de inativação de agentes patogénicos (e.g. <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i>); Não forma subprodutos; Reduzido tempo de contacto; Fácil O&M; 	<ul style="list-style-type: none"> Custos de capital elevados; Possibilidade de fotorreativação, pois não tem residual de desinfecção, com necessidade de desinfetante adicional; Necessidade de um programa preventivo para a manutenção das lâmpadas; Inadequado para efluentes carregados de sólidos, turbidez, cor ou matéria orgânica dissolvida, afetando a transmitância da radiação UV; Baixo poder virucida;

Por fim, importa referir que a construção e a operação dos sistemas de tratamento devem incidir nos custos de capital e de operação e manutenção, bem como no consumo de recursos (e.g. energia, químicos), que necessitam de ser contabilizados na escolha estratégica do tratamento a implantar numa ETARu. De notar, que consumo energético, o processamento de químicos e o tratamento de lamas são as atividades identificadas com os contributos mais significativos a nível de custos e a nível de emissões ambientais (e.g. CO₂ e SO₂) (Theragowda, Vidic, Landis, Dzombak, & Matthews, 2016).

Tabela 3.3 - Principais processos de tratamento terciário utilizados para reutilização de água (Roccaro, 2018)

Processos	Remoção de nutrientes	Remoção de SST	Remoção de SDT	Remoção de agentes patogênicos	Remoção de metais	Remoção de contaminantes emergentes	Resíduos e/ou subprodutos	Competência Operadores	Complexidade relativa da tecnologia	Nível de maturidade da Tecnologia	Custos (capital + O&M)
Remoção Biológica de N e P	Elevada (N, P)	Média	Não/Negligenciável	Reduzida	Não/Negligenciável	Não/Negligenciável	Lama	Reduzida	Reduzida	Elevada	Médio
Precipitação de P	Elevada (P)	Média/Elevada	Não/Negligenciável	Reduzida	Elevada	Não/Negligenciável	Lama	Reduzida	Reduzida	Elevada	Médio
RBM	Reduzida/Elevada	Elevada	Não/Negligenciável	Média	Não/Negligenciável	Reduzida	Lama	Reduzida	Reduzida/Média	Média/Elevada	Médio/Elevado
Filtração granular média	Reduzida	Elevada	Não/Negligenciável	Reduzida/Média	Não/Negligenciável	Não/Negligenciável	Água de lavagem	Reduzida	Reduzida	Elevada	Reduzido
Adsorção CAG/CAP	Reduzida	Reduzida/Média	Não/Negligenciável	Reduzida	Reduzida/Média	Reduzida/Elevada	Resíduos de CAG/CAP	Reduzida	Reduzida	Elevada	Médio
O ₃ /BCA	Reduzida/Média	Média	Não/Negligenciável	Reduzida/Média	Não/Negligenciável	Reduzida/Elevada	Subprodutos limitados pela ação da BCA	Reduzida/Média	Média	Reduzida/Média	Médio/Elevado
MF/UF	Reduzida	Elevada	Não/Negligenciável	Reduzida	Não/Negligenciável	Não/Negligenciável	Água de lavagem	Reduzida	Reduzida	Elevada	Reduzido
NF/OI	Elevada (N, P)	Reduzida	Elevada	Elevada/Média	Elevada	Elevada	Concentrado	Reduzida/Média	Média	Elevada	Elevado
Cloragem	Reduzida	Não/Negligenciável	Não/Negligenciável	Elevada/Média	Não/Negligenciável	Reduzida/Média	e.g. Triometanos ácidos halbacéticos	Reduzida	Reduzida	Elevada	Reduzido
Desinfecção UV	Não/Negligenciável	Não/Negligenciável	Não/Negligenciável	Elevada	Não/Negligenciável	Reduzida	Não/Negligenciável	Reduzida/Média	Reduzida	Elevada	Reduzido
Ozonização	Reduzida	Reduzida/Média	Não/Negligenciável	Elevada/Média	Não/Negligenciável	Elevada	e.g. bromato, N-nitrosodimetilamina	Média	Média	Elevada	Médio
PAOs	Não/Negligenciável	Não/Negligenciável	Não/Negligenciável	Elevada/Média	Não/Negligenciável	Elevada	e.g. contaminantes emergentes	Reduzida/Média	Elevada	Reduzida/Média	Médio/Elevado
Tratamento aquífero no solo	Reduzida	Média	Reduzida	Reduzida/Média	Reduzida/Média	Reduzida/Média	contaminantes de preocupação emergente	Reduzida	Reduzida	Média	Reduzido
Leitos de macrófitas	Reduzida	Média	Não/Negligenciável	Reduzida/Média	Reduzida/Média	Reduzida/Média	Biomassa	Reduzida	Reduzida	Média	Reduzido

3.2. Sistemas de Apoio à Decisão

Os projetos de reutilização de água diferem no nível de tratamento implantado e, portanto, no custo, no tipo de utilizadores finais e, também, no nível de exposição humana que é compatível com a salvaguarda da saúde pública (Tabela 3.4) (USEPA, 2012).

Tabela 3.4 - Tipos de reutilização adequada para diferentes níveis de tratamento, de utilização final, de exposição humana e de custo (USEPA, 2012)

Nível de tratamento	Aumento da exigência de tratamento →			
	Primário	Secundário	Filtração e Desinfecção	Avançado
Processos	<ul style="list-style-type: none"> Sedimentação 	<ul style="list-style-type: none"> Oxidação biológica e desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> Coagulação química, filtração e desinfecção Remoção biológica ou química de nutrientes, filtração e desinfecção 	<ul style="list-style-type: none"> Carvão ativado Osmose inversa Processos avançados de oxidação Tratamento aquífero do solo Outros
Uso final	<ul style="list-style-type: none"> Nenhum uso recomendado 	<ul style="list-style-type: none"> Rega de pomares e vinhas Rega de culturas não destinadas a consumo humano Rega paisagística restrita Recarga de aquíferos para usos não potáveis Zonas húmidas, habitat selvagens, aumento do caudal Processos de refrigeração industrial 	<ul style="list-style-type: none"> Rega paisagística e de campos de golfe Autoclismo Lavagem de veículos Rega de culturas destinadas a consumo humano Uso recreativo sem restrições Sistemas industriais 	<p>Uso potável indireto:</p> <ul style="list-style-type: none"> Recarga de aquíferos com água potável Aumento da capacidade de reservatórios de água de superfície
Exposição humana	Aumento aceitável dos níveis de exposição humana →			
Custo	Aumento expectável dos custos das tecnologias de tratamento →			

Nesse sentido, diversas ferramentas têm sido desenvolvidas, particularmente Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), que auxiliam na implementação de novos projetos de reutilização de água ao compreenderem aspetos relativos à viabilidade técnico-económica, ambiental, social e local (Tabela 3.5) (Salgot et al., 2018).

Tabela 3.5 - Aspetos a considerar num SAD para o tratamento de água residual, com a finalidade de reutilizar água

Fatores	Considerações	Observações
Características da água residual	Depende da sua origem (e.g. doméstica e industrial) e do sistema de drenagem.	A carga carbonácea orgânica dos efluentes influencia a seleção do tipo de tratamento.
Quantidade de água a tratar	Depende da procura dos utilizadores e do tipo de economia e de políticas das sociedades.	Uso eficiente de água.
Normas e regulações atuais	Aplicação de diretrizes e recomendações nacionais ou internacionais.	Define a qualidade da água final apta a reutilizar para cada tipo de utilização.
Tecnologia disponível	Recurso às melhores tecnologias disponíveis, atendendo às capacidades tecnológica e económica.	Necessidade de atualização: investigação, desenvolvimento e inovação.
Integração Paisagística	Depende do tipo de tecnologia e da localização específica da instalação.	Sistemas cujas soluções são baseados na natureza representam uma melhor integração paisagística.
Economia	Capacidade para adequada operação e manutenção do sistema de tratamento. Capacidade financeira limita a seleção das tecnologias a implantar.	Os custos inerentes a todo o tratamento devem ser incluídos no preço da água.
Aceitação Social	Depende da localização e características da instalação, bem como do nível de educação da população.	Influenciada pela comunicação de políticas e pelas necessidades dos utilizadores.
Centralização vs. Descentralização	Diversos centros urbanos usufruem da mesma ETAR vs. Cada centro urbano tem a sua própria ETAR.	Depende dos custos (particularmente dos afetos ao sistema de drenagem) e da necessidade de resposta das áreas suburbanas e centros rurais.
Qualidade do efluente	Depende das diretrizes e recomendações, que podem definir, legalmente, a escolha das tecnologias, bem como das atividades das populações servidas.	Aplicação de sistemas de avaliação e gestão de riscos (e.g. Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos)
Gestão de nutrientes	Identificação dos meios recetores, particularmente dos que são sensíveis.	Redução intensiva de nutrientes conduz ao consumo extensivo de energia e aumento de custos de exploração.
Possibilidades de reutilização	A qualidade final necessária é fixada pela legislação, em função dos usos finais.	Agricultura e indústria são, comumente, os setores com uma maior procura.
Possibilidades de reciclagem	Água com qualidade suficiente para ser reciclada, em fluxos internos de um sistema.	Utilização sucessiva da mesma água numa instalação em processos como a refrigeração.
Área disponível	Implantação de tecnologia em terrenos de custo reduzido.	A localização afeta o tipo de tratamento (e.g. nas zonas costeiras as ETAR estão dentro de um edifício)
Subprodutos	Resíduos gerados no pré-tratamento e biosólidos (lamas)	Custos elevados na gestão de lamas

Os autores Chhipi-Shrestha, Hewage, & Sadiq, (2017a) propõe um SAD específico para a seleção de opções tecnológicas no tratamento de água apta para reutilizar (Figura 3.2), que inclui diversas componentes ambientais (e.g. consumo energético e emissões de carbono), a análise dos riscos afetos à salvaguarda da saúde pública, assim como um aspeto característico da economia circular, a análise de custo do ciclo de vida.

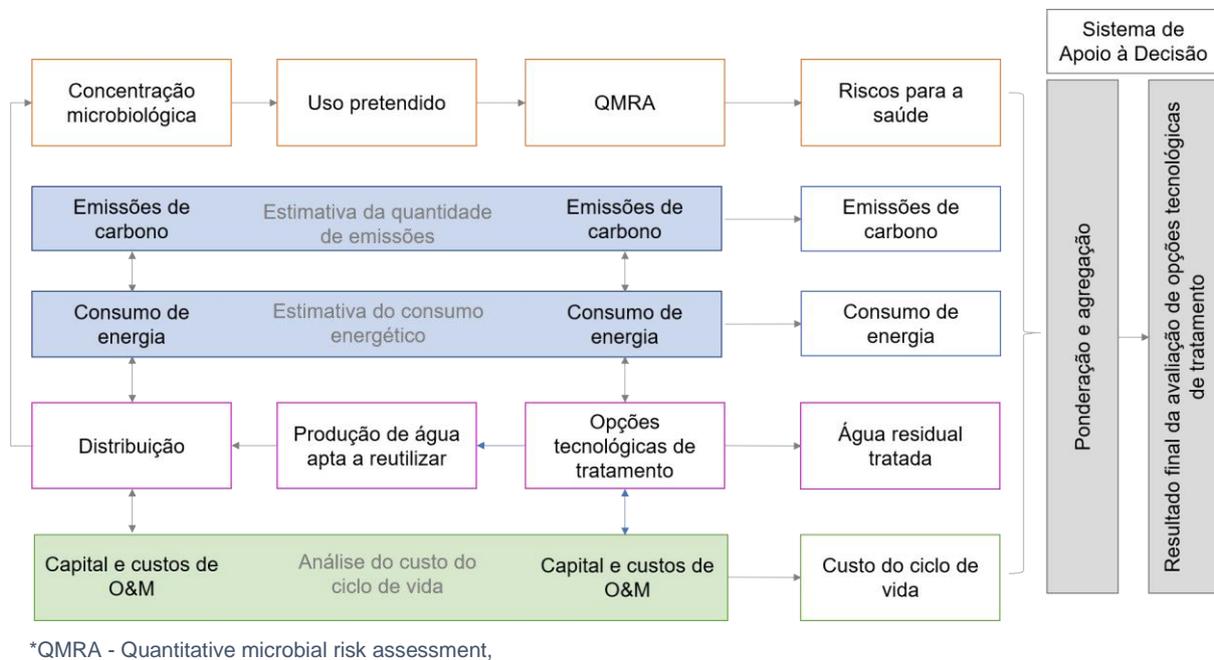


Figura 3.2 - Diagrama SAD para tecnologias de tratamento de água para reutilizar

O custo do tratamento da água residual pode ser estimado com base na análise de custo do ciclo de vida (LCCA), sendo expresso em termos do valor atual líquido (VAL) do projeto (Chhipi-Shrestha, Hewage, & Sadiq, 2017b).

O LCCA é um método de avaliação económica, particularmente adequado para selecionar alternativas, que considera todos os custos decorrentes da aquisição, projeto e construção, operação e manutenção, reabilitação, fim de vida e rendimento (Langdon, 2007; Yerri & Piratla, 2018). Assim, o LCCA avalia a relação custo-eficácia a longo prazo de um projeto (Chhipi-Shrestha et al., 2017a).

De notar, que a sigla QMRA é afeta a um sistema de avaliação de riscos microbiológicos, que será enquadrado no subcapítulo seguinte (Sistemas de Avaliação e Gestão de Riscos).

3.3. Sistemas de Avaliação e Gestão de Riscos

Para cada utilização de água residual tratada, devem de ser estabelecidos critérios de segurança e associados os potenciais riscos (Šrámková et al., 2018). Não obstante, existe a tendência para indicar que a reutilização de água terá de atingir um risco nulo (Salgot, 2008).

A aplicação do princípio da precaução consiste na concretização de uma ação perante ameaças potencialmente graves e irreversíveis, para a saúde pública e o ambiente, evitando eventuais impactos negativos causados por certas substâncias, que são persistentes, tóxicas e responsáveis por processos de bioacumulação (Maynard, 2002).

Acresce o facto desta ferramenta útil atuar à luz das melhores técnicas existentes e disponíveis, vulgarmente denominadas por MTD, em vez de se esperar um tempo indefinido, pelos resultados da avaliação de informação monitorizada previamente (Salgot, 2008).

O desenvolvimento de planos de segurança ocupacional baseados num Sistema de Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos (internacionalmente conhecido pela sigla HACCP) podem ser implantados. Este tipo de sistema apresenta uma metodologia preventiva na gestão de riscos e tem como finalidade o controlo de perigos nas ETAR, através da identificação, definição de limites, controlo e registo dos pontos críticos (Tabela 3.6) (Dewettinck, Houtte, Geenens, Hege, & Verstraete, 2001).

Tabela 3.6 - Exemplos de pontos críticos e respetivos perigos, estratégias de monitorização e de medidas preventivas

Processo	Perigo	Monitorização	Medidas Preventivas
Microfiltração	Colmatação e rutura de membrana	Quantificação de partículas Conductividade	Interrupção do funcionamento do módulo de membranas Substituição da membrana
Desinfeção via UV	SST que absorvem UV e servem de escudo de proteção aos agentes patogénicos	Turbidez Transmitância da radiação UV	Verificar funcionamento da etapa a montante

Outra ferramenta vulgarmente utilizada na avaliação e gestão de riscos é Avaliação Quantitativa de risco microbiológico (*Quantitative microbial risk assessment*, QMRA), particularmente em projetos de reutilização que preveem a produção de água apta para a rega agrícola, cujas culturas são para consumo humano (Jaramillo & Restrepo, 2017).

Uma alternativa integrada na avaliação e gestão de riscos é o Planeamento da Segurança do Saneamento (PPS), que inclui o Sistema de Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos, a Avaliação Quantitativa de risco microbiológico e, também, a Avaliação de Impacto de Saúde (AIS). O PPS (Figura 3.3) visa prever, mitigar os riscos e minimizar os seus impactos, constituindo uma solução de boas práticas na gestão dos serviços de saneamento (WHO, 2016).



Figura 3.3 - Estrutura de um PPS

4. EXPERIÊNCIAS A NÍVEL GLOBAL

O presente capítulo aborda diversas práticas de reutilização de água no mundo (Figura 4.1), que são influenciadas por diferentes contextos económicos, sociais, climáticos e geográficos e, conseqüentemente, caracterizam as suas necessidades de água, o tipo de medidas adotadas para a salvaguarda da saúde pública e do ambiente e, também, a sua percepção e aceitação pública.

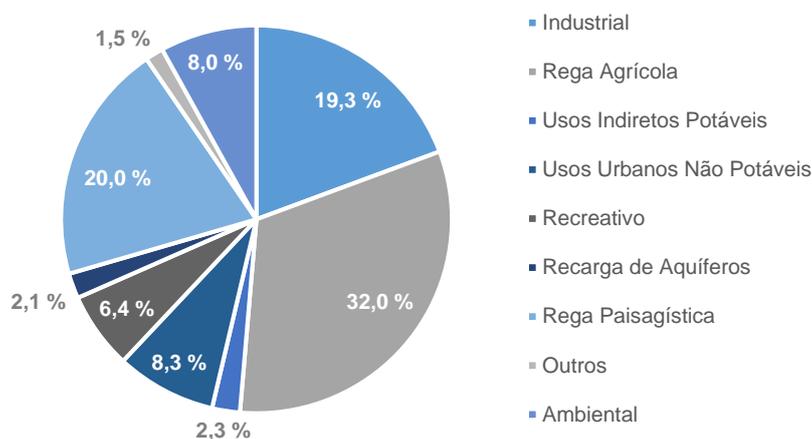


Figura 4.1 - Reutilização mundial de água, que foi sujeita a tratamento terciário, por tipo de aplicação

África

No continente africano vive 15% da população mundial, apesar do mesmo possuir, somente, 9% dos recursos hídricos renováveis do planeta, distribuídos desigualmente por região (Wang et al., 2014).

A lacuna entre a disponibilidade e as necessidades de água apresenta uma discrepância crescente, especialmente nas cidades, onde é expectável que a população quadruplique até ao ano de 2037 (Jacobsen, Webster, & Vairavamoorthy, 2013). Nesse sentido, o aumento populacional e urbano é um dos maiores desafios que África enfrenta, dado que fomenta o acréscimo de problemas de cariz económico, ambiental e social, assim como requer um maior investimento em infraestruturas, nomeadamente de sistemas de abastecimento de água e de saneamento de água residual, cuja cobertura total é extremamente reduzida, particularmente em África Subsariana (Bahri, Drechsel, & Brissaud, 2010).

Todavia, a reutilização de água é uma prática comum da população, que garante a sua subsistência ao socorrer-se dos recursos que a água residual contém, colocando em risco a saúde pública e potenciando efeitos nefastos no ambiente, dado que a mesma é efetuada de modo não controlado e direto (Bahri et al., 2010).

Atualmente, ao contrário do que se sucede, por exemplo, no Gana e na Etiópia, em Marraquexe a reutilização de água, nomeadamente na rega paisagística, é efetuada segundo um tratamento adequado e segundo as diretrizes da FAO, que se encontram expressas no projeto *“Regeneration of Forests in Algeria, Egypt, Morocco and Tunisia by the use of treated wastewater in order to support*

livelihoods of smallholders and farmers” (Bahri et al., 2010; Moussaoui, Wahbi, Mandi, Masi, & Ouazzani, 2018; United Nations Global Water Report, 2017).

De facto, a aplicação de água residual tratada nas florestas de Marraquexe apresenta um risco reduzido para saúde pública, permitindo expandir o interesse em reutilizar água com elevadas cargas de nutrientes (e.g. N e P) e, por conseguinte, valorizar a água residual e proteger o ambiente (Moussaoui et al., 2018).

Região da Arábia

A nível global, a região da Arábia é a mais afetada pela escassez hídrica, sendo que, em 2014, 18 dos 22 países árabes apresentavam um nível de pobreza em água inferior a 1 000 m³ *per capita*. Não obstante, durante o ano de 2013, 69% da água residual foi recolhida e tratada, com 46% afeta de tratamento secundário e com 23% afeta de tratamento terciário. De ressaltar, que 23% da água residual tratada foi utilizada, preferencialmente, em atividades de regadio e na recarga de aquíferos (United Nations Global Water Report, 2017).

Os maiores desafios que a Região da Arábia enfrenta são: (1) a conexão dos sistemas de abastecimento e de saneamento às populações dispersas; (2) a pressão populacional dos refugiados provenientes do Irão e da Síria, que varia entre as fases de projeto e de conceção de ETAR; (3) a ausência de sistemas de drenagem de águas pluviais e de recarga artificial de águas subterrâneas, que acomodem eventos extremos de precipitação e que não condicionem a operação das ETAR; e (4) o investimento insuficiente, nomeadamente em estações de tratamento sobredimensionadas e na manutenção da capacidade técnica que o tratamento secundário e terciário exigem (ESCWA, 2013; Sibson, 2015; United Nations Global Water Report, 2017).

De notar, que as seis maiores ETAR de Riad, capital da Arábia Saudita, produzem água residual tratada capaz de reutilizar na rega agrícola. No entanto, a aplicação desta água é apenas possível na rega restrita, dado que o valor de coliformes fecais detetado não cumpre os requisitos estabelecidos, pelo Ministério da Água e da Eletricidade, para a rega agrícola não restrita, denotando-se a necessidade de introduzir uma etapa de desinfecção a jusante do tratamento terciário que está implantado. O tratamento terciário, pelas ETAR Norte e ETAR Sul de Riad, é preconizado por filtração em areia (Al-Jasser, 2011).

Ásia e a Região do Pacífico

A Ásia e a Região do Pacífico têm experienciado cenários de competição crescente pelas fontes de água doce, enquanto cerca de 75 a 80% da água residual produzida não é tratada, poluindo as massas de água superficiais e subterrâneas, assim como os ecossistemas costeiros, através da carga significativa de nutrientes e de compostos tóxicos (ESCAP, 2014).

A lacuna entre a disponibilidade e as necessidades de água resulta das disparidades a nível socioeconómico das diversas regiões e da ausência de quadros políticos, que promovam a economia circular e a sustentabilidade. Por exemplo, a lacuna referente à China, prevista para 2030, será de 201 mil milhões de metros cúbicos (Sun et al., 2016).

A percentagem estimada de água residual tratada sem qualquer tipo de tratamento é de 77% para a Tailândia, 82% para o Paquistão, 84% para a Arménia e de 81% para o Vietname (United Nations Global Water Report, 2017). Por oposição, importa salientar o caso de Israel, que trata mais de 85% de água residual, reutilizando-a na rega agrícola, e o caso da Austrália, que trata mais de 92%, reutilizando cerca de 21%, dos quais 14% da água corresponde a usos agrícolas (Lyu, Chen, Zhang, Fan, & Jiao, 2016; Reznik et al., 2017).

A China, o Japão e a República da Coreia têm atuado no ciclo urbano da água, mediante investimento em tecnologias, inclusão de reutilização de água e fomento de estratégias económicas preventivas, para a descarga de águas residuais e poluição inerente. Paralelamente, estes países têm implementado políticas financeiras de modo a auxiliar a criação e desenvolvimento de mercados dedicados aos subprodutos do tratamento da água residual (United Nations Global Water Report, 2017). Singapura, também, têm sido alvo de uma gestão integrada e focada na economia circular, transformando os subprodutos em materiais alternativos para a construção civil (Lefebvre, 2018).

A reutilização de água em Singapura tem permitido satisfazer as necessidades hídricas, onde o solo é um fator limitante para a captação e o armazenamento de água. Há medida que a tecnologia viabiliza a reutilização de água nesta cidade-estado, a vontade política, a boa governança e o compromisso público têm constituído fatores chave para a aplicação deste recurso, denominado por *NEWater*, em usos indiretos potáveis e diretos não potáveis (Lee & Tan, 2016). A *NEWater* é produzida numa linha de tratamento que inclui, por exemplo, sedimentação primária, lamas ativadas, microfiltração, ultrafiltração, osmose inversa e desinfecção via radiação ultravioleta (Lefebvre, 2018).

Importa salientar, que a Ásia e a Região do Pacífico, para além da opção de reutilizar água, têm desenvolvido infraestruturas de mitigação de risco para situações de escassez hídrica, tais como: telhados verdes em Hong Kong, na China, e a agricultura vertical em edifícios na Coreia do Sul, no Japão e em Singapura (Despommier, 2013; Townshend, 2007). Adicionalmente, alguns países utilizam biomassa em substituição de fertilizantes ou para produção de biocombustível (ESCAP, UN-Habitat, & AIT, 2015).

Europa e América do Norte

A maioria dos países europeus, especialmente os do Norte, são caracterizados pela abundância de recursos hídricos. Por esse motivo, não apresentam um investimento notório na reciclagem de água, nem no planeamento para reutilização, mesmo considerando os impactos previstos pelas alterações climáticas. A Noruega, por exemplo, inclui a reutilização de água em usos industriais, enquanto a Suécia, inclui a reutilização de água para a rega de culturas nos meses de Verão (Paranychianakis, Salgot, Snyder, & Angelakis, 2015).

Na Europa central, existem casos pontuais, onde a reutilização de água é a única solução económica e sustentável. Na Bélgica, as massas de água superficial são limitadas, uma vez que se encontram, frequentemente, salgadas e disponíveis, apenas, durante o Inverno. A recarga de aquíferos com água residual tratada, surgiu como uma solução na Região de *Veurne*, no ano de 2002, com recurso à construção da ETAR *Torrele* (Houtte & Verbauwheide, 2008). A ETAR em questão é constituída pelas

seguintes fases de tratamento: pré-tratamento, microfiltração, filtros de *cartridge*, osmose inversa e radiação ultravioleta (Houtte, Verbauwheede, & Driessens, 2005).

Outro caso pontual sucede-se na França, em que motivo principal para reutilizar água relaciona-se com a necessidade de proteger as massas de água superficial, nomeadamente da poluição microbiológica e da eutrofização (Faby, Brissaud, & Bontoux, 1999). Um dos projetos implementados em França, localiza-se em *Noirmoutier*, nas ETAR de *La Casie* e de *La Salaisiere*, para reutilização de água em rega agrícola (Xu, Valette, Brissaud, Fazio, & Lazarova, 2001).

No Sul da Europa, embora o planeamento para reutilizar de água seja limitado, a água residual urbana tratada é uma fonte crescente de água, rápida e localmente importante, para a irrigação de culturas agrícolas, paisagens e campos de golfe, entre outros usos (Paranychianakis et al., 2015).

Em Portugal existem diversos projetos para fazer face à escassez hídrica e à proteção das massas de água. No município de Cascais, desde 2016, que 100% das ruas são lavadas com água residual tratada na ETAR da Guia, evitando o consumo de 7 500 m³ de água de abastecimento, por ano (Cascais Ambiente, 2018). No município de Lisboa, para além da lavagem de ruas, a rega de espaços verdes é efetuada com água residual tratada na ETAR de Chelas (Lisboa E-nova, 2013). O tratamento terciário inclui, em ambas as ETAR, etapas de filtração em areia e de desinfecção ultravioleta.

Na Turquia, as alterações climáticas, a rápida urbanização e industrialização, bem como o turismo em massa têm contribuído para a produção excessiva de efluentes (Kendirli, Çakmak, & Gökalp, 2005). Com efeito, existe um grande potencial para a reutilização de água, que tem sido conseguida, maioritariamente, com recurso à implantação de tecnologias de membranas (Maryam & Büyükgüngör, 2017).

Casos análogos encontram-se noutros países mediterrâneos, tais como Grécia, Itália e Chipre (Kalavrouziotis et al., 2015).

Na América do Norte, tal como na Europa meridional, o maior desafio e, conseqüentemente, motivo para reutilizar água é a escassez hídrica (United Nations Global Water Report, 2017).

No Texas, por exemplo, a lacuna entre as necessidades e a disponibilidade de água atingirá os 41% (Daher et al., 2018). Atualmente, na ETAR de *Big Springs* produz-se água para reutilizar diretamente em usos potáveis, cujo tratamento terciário é constituído por microfiltração, osmose inversa e desinfecção via radiação ultravioleta (Martin, 2014).

Na Califórnia, com o objetivo de diversificar o fornecimento de água, têm sido desenvolvidos projetos como o *Biwater*, em *Santee*, e o *Eco-Reuse*, em *Pismo Beach*. O projeto *Biwater* resulta da construção e da instalação de uma fonte suplementar de água, para usos potáveis indiretos, com recurso a tecnologias avançadas de purificação. O efluente secundário é sujeito à desinfecção com cloro, coagulação, ultrafiltração, osmose inversa e processos de oxidação avançadas (Reidy, 2014). O projeto *Eco-Reuse* é uma solução que atende à eficiência energética e à redução de químicos na produção de

água reciclada, otimizando a sua performance ao utilizar um reator biológico de membranas, como pré-tratamento, a montante do tratamento terciário, que é preconizado por osmose inversa (Reidy, 2018).

América Latina e Caraíbas

Aproximadamente um quarto da floresta mundial localiza-se na América Latina e nas Caraíbas. Esta região é caracterizada pela presença de florestas tropicais e savanas (Kozovits & Bustamante, 2013). Os recursos hídricos são predominantemente abundantes mas existem zonas áridas e semi áridas (e.g. México e noroeste do Brasil) (Blanca Jiménez, 2008).

Os maiores obstáculos na gestão da água, nesta região, prendem-se com a reduzida cobertura de redes de drenagem de água residual, assim como a utilização de água contaminada (e.g. rega agrícola) (UN Environment, 2015). Note-se, que água contaminada resulta da água residual urbana, maioritariamente, industrial, que é descarregada sem tratamento nos meios recetores. De facto, apenas 20% da água residual produzida é tratada, bem como, somente, 23% da população tem acesso a serviços sanitários (Hernández-Padilla, Margni, Noyola, Guereca-Hernandez, & Bulle, 2017). Com efeito, o ambiente e a saúde pública são afetados negativamente (UN Environment, 2015).

Nas últimas duas décadas, a situação começou a mudar com o aumento do número de sistemas de abastecimento de água e de sistemas de drenagem e, particularmente, do tratamento de água residual (United Nations Global Water Report, 2017).

Existem diversos exemplos de reutilização de água, mas continuam a ser casos isolados e limitados a poucos países, tais como: o México, que utiliza 240 mil m³/dia de água residual tratada para usos industriais, com projetos a operar em *Monterrey* e na Cidade do México; o Chile, que reutiliza 5% da água residual tratada para atividades mineiras; o Perú, particularmente em Miraflores, reutiliza cerca de 172 e 259 mil m³/dia de água residual tratada para rega agrícola e para a aquacultura (Blanca Jiménez, 2008).

5. CASO DE ESTUDO

O presente capítulo ilustra o caso de estudo e, por isso, enquadra a procura potencial de água residual a tratar na ETAR de Arruda dos Vinhos, procurando identificar os potenciais utilizadores e respetivas exigências do ponto de vista da qualidade. Por conseguinte, engloba a adoção de possíveis tecnologias, que são testadas face à sua viabilidade técnico-económica e ambiental.

5.1. Objetivo

O estudo do potencial de reutilização de água, no Município de Arruda dos Vinhos tem como objetivo analisar a viabilidade de uma fonte alternativa à água de abastecimento, para usos não potáveis, através da implantação do tratamento terciário na ETAR de Arruda dos Vinhos.

Assim, o presente caso de estudo avalia diversos cenários tecnológicos, por forma a responder às necessidades de água e à exigência da qualidade requerida pelas mesmas.

5.2. Metodologia

A metodologia proposta para o desenvolvimento do caso de estudo assenta nos seguintes pontos:

1. Caracterização do Município de Arruda ao nível socioeconómico, atendendo à situação atual e ao potencial desenvolvimento dos setores agrícola, industrial e até mesmo camarário.
2. Caracterização do consumo de água de abastecimento pelos diferentes setores
3. Identificação dos principais potenciais utilizadores de águas residuais tratadas em Arruda dos Vinhos.
4. Inquérito sobre a potencial utilização de águas residuais tratadas aos agentes identificados com o maior consumo de água de abastecimento e/ou com maior volume de descargas, para além do próprio Município.
5. Caracterização expectável da qualidade do efluente tratado pela ETAR de Arruda dos Vinhos, no quadro da remodelação prevista da ETAR.
6. Confronto das características quantitativas e qualitativas do efluente tratado com os requisitos legais e as normas de reutilização de águas residuais tratadas nacionais.
7. Definição do âmbito de aplicabilidade, compaginável com o uso direto e indireto.
8. Estudo técnico-económico e ambiental acerca da viabilidade da reutilização de águas residuais no Município de Arruda dos Vinhos.
9. Análise e discussão de resultados do estudo técnico-económico e ambiental.
10. Conclusões.

5.3. Município de Arruda dos Vinhos

Neste subcapítulo caracteriza-se o Município de Arruda dos Vinhos em termos socioeconómicos, procurando, simultaneamente, correlacionar os resultados obtidos com os objetivos definidos no presente caso de estudo.

Segundo o documento “Bases de Fundamentação do Processo de Revisão” relativo ao Plano Diretor Municipal de Arruda dos Vinhos a realidade atual da Região é caracterizada pelos seguintes traços (FBO Consultores, 2017):

- Localização Territorial

O Município de Arruda dos Vinhos localiza-se na Região de Lisboa e Vale do Tejo (NUT III – Oeste), que confina a Sul com o Município de Loures, a Norte com Alenquer, a poente com Sobral de Monte Agraço e Mafra e a nascente com o Município de Vila Franca de Xira (Figura 5.1).

O território do Município de Arruda apresenta uma área de 77 km², que integra quatro freguesias, nomeadamente: Arranhó, Arruda dos Vinhos (sede), Cardosas e Santiago dos Velhos.

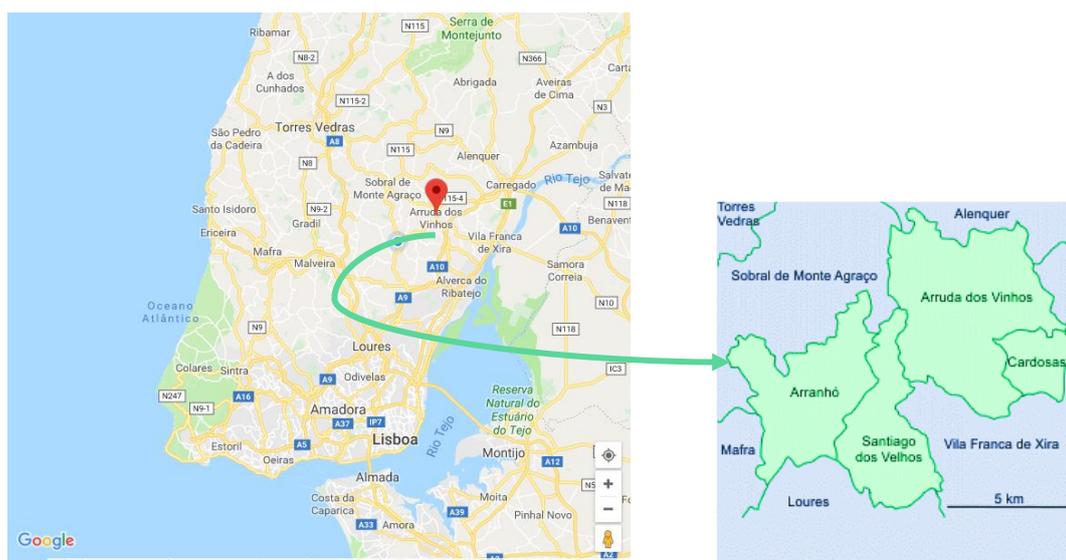


Figura 5.1 - Localização do Município de Arruda dos Vinhos (Google Maps, 2018)

- Demografia

O crescimento populacional do Município apresenta um forte crescimento, segundo os censos 2001 e 2011, que registam 10 350 e 13 391 pessoas, respetivamente, e de acordo com os dados relativos à população residente, que registam, atualmente, cerca de 15 000 pessoas (INE, 2001, 2011; PORDATA, 2018b).

- Atividades económicas

O Município de Arruda dos Vinhos, apesar da ruralidade, durante a última década, tem vindo a sofrer um rápido desenvolvimento, que se reflete na estrutura e na dinâmica dos setores económicos.

As atividades predominantes são o comércio e os serviços (Figura 5.2). No entanto, no setor secundário, diversas novas indústrias têm sido implantadas, destacando-se a indústria de metalomecânica e a de sucata. Complementarmente, o setor agrícola assume uma grande importância no Município, sendo considerado um prestigiado centro vinhateiro.

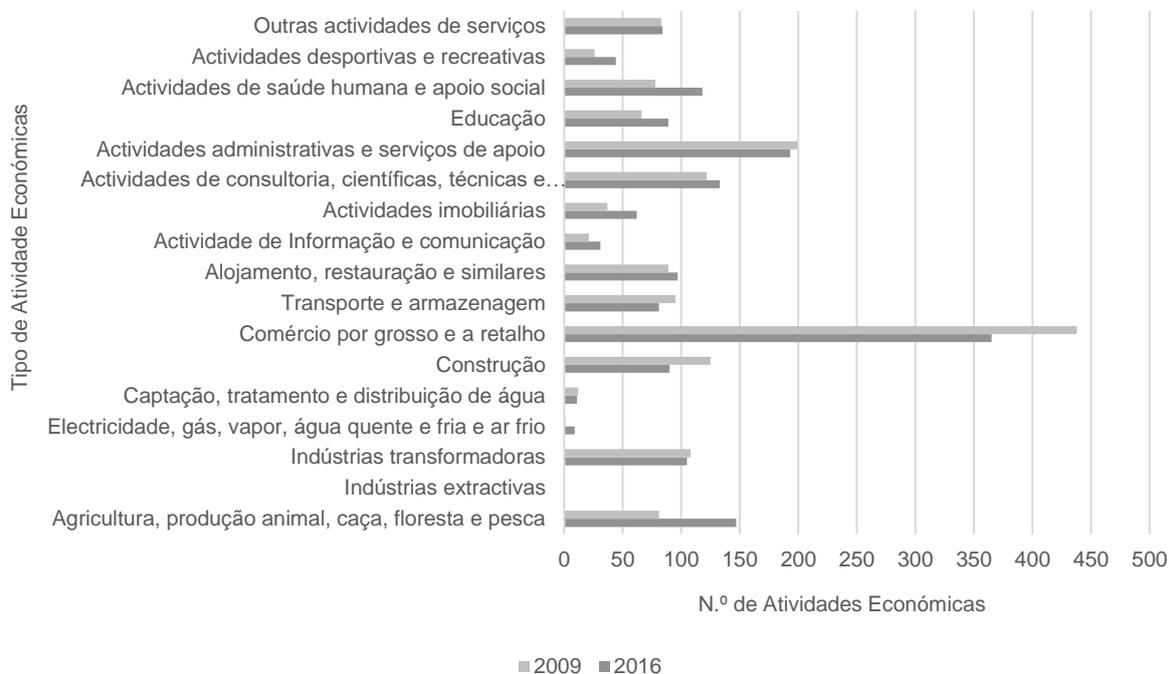


Figura 5.2 - Evolução do número de atividades económicas por tipo, no Município de Arruda dos Vinhos (PORDATA, 2018a)

Em matéria de desempenho económico e especialização, o Relatório sobre o Estado do Ordenamento do Território de Lisboa e Vale do Tejo (2017) refere que o Oeste, incluindo Arruda dos Vinhos, apresenta um acréscimo significativo de investimento em investigação e desenvolvimento tecnológico, assim como taxas elevadas de natalidade de empresas e de sobrevivência de empresas dois anos após a sua criação.

5.4. Potenciais Utilizadores de Água Residual Tratada

A estimativa do volume de água a reutilizar tem por base os dados do consumo de água dos potenciais utilizadores, nomeadamente a Câmara Municipal e as empresas cujas atividades económicas necessitam de vultuosos volumes de água.

De notar, que a água consumida no Município é 100% segura, sendo fornecida, quase exclusivamente, pela EPAL S.A., cuja rede de distribuição é em baixa.

- **Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos**

O consumo anual de água no Município de Arruda dos Vinhos (652 mil m³) desagrega-se em diversos setores de atividade, sendo os mesmos contabilizados apenas em função do tipo de consumo, i.e., doméstico ou não doméstico, conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Desagregação dos consumos de água potável no Município de Arruda dos Vinhos (2017)

Consumo	Consumo (m ³ / ano)	Percentagem (%)
Doméstico	511 505	78
Não-doméstico: <ul style="list-style-type: none"> • Comércio/Indústrias • Câmara Municipal • Outras Instituições 	140 829	22
Total	652 334	100

De notar, que para além dos consumos doméstico e não-doméstico, existem perdas reais, que variam num intervalo de 0 a 5%, segundo o Relatório sobre o Estado do Ordenamento do Território de Lisboa e Vale do Tejo (2017), cujo valor máximo corresponde a 32,6 mil m³/ano.

A desagregação detalhada do consumo de água potável pelos diferentes tipos de utilização da Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos apresenta-se na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Desagregação do consumo de água potável da Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos (2018)

Distribuição	Consumo (m ³ / ano)
Jardins	18 965
Lavagens de ruas	-
Chafarizes e bebedouros	-
Bombeiros	1 659
Escolas e blocos escolares	6 203
Piscinas	3 420
Serviços administrativos	-
Recintos desportivos e espetáculos	4 407
Outros	-
Total	34 654

Os consumos de água da Câmara de Arruda dos Vinhos revelam que existe potencial para a reutilização de água, nomeadamente em rega urbanística. Na Figura 5.3, considera-se a repartição da água consumida em usos potáveis (15,7 mil m³/ano) e em usos não potáveis (19,0 mil m³/ano).

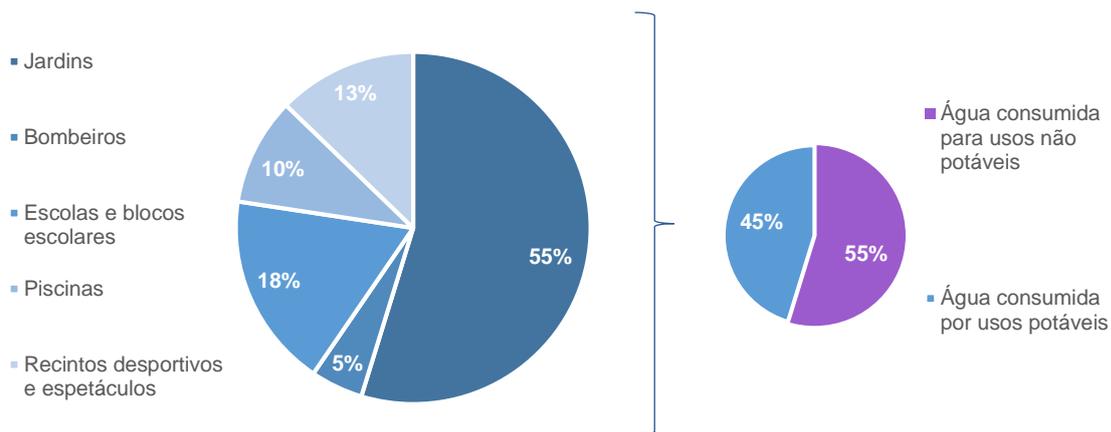


Figura 5.3 - Desagregação do consumo de água da Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos pelos diferentes tipos de utilização (2017)

O consumo de água da Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos, que representa 5% do consumo do Município de Arruda dos Vinhos, tem como maior parcela a rega de jardins, que corresponde a 55%.

A identificação do consumo de água em usos não potáveis possibilitou definir quais os usos passíveis de reutilização no município em questão, sendo que os mesmos contabilizam diretamente a rega urbanística e contabilizam indiretamente os usos não potáveis dos bombeiros (e.g. água para combate a incêndios) e dos recintos desportivos e de espetáculos (e.g. rega do campo de futebol).

- **Empresas com atividades económicas**

As empresas com potencial para reutilizar água foram identificadas, previamente, com o auxílio da Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos, em função do seu consumo de água potável e da tipologia da sua atividade económica, sendo posteriormente filtradas de acordo com a sua distância à ETAR de Arruda dos Vinhos (raio inferior a 2 km) e com o interesse demonstrado no inquérito realizado. O consumo das empresas desagregado por tipologia de atividade económica distribui-se conforme ilustra a Figura 5.4.

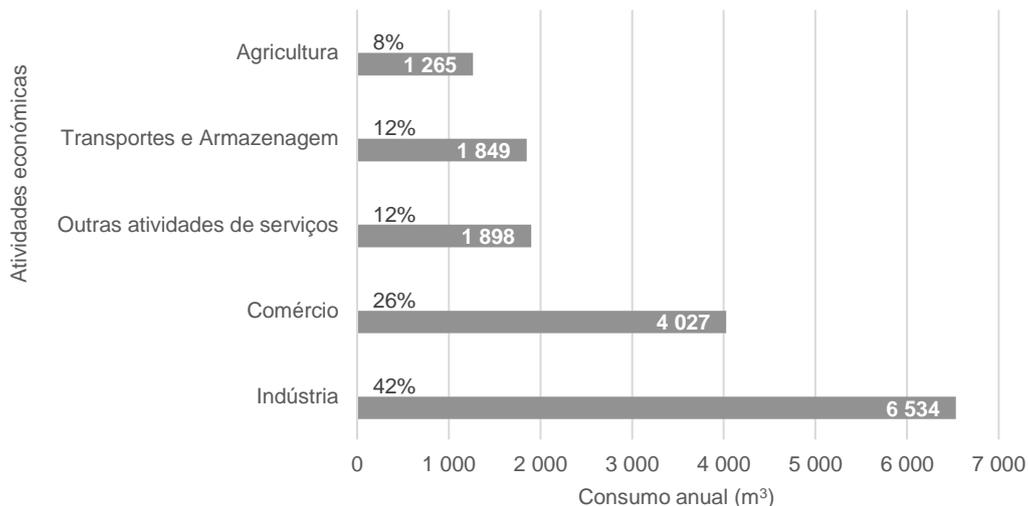


Figura 5.4 – Consumo por tipo de atividade económica das empresas identificadas com potencial para reutilizar água (2018)

A desagregação por tipologia de atividade económica permite aferir que a indústria e o comércio são as atividades mais consumidoras de água e, portanto, as atividades com maior potencial de reutilização deste recurso hídrico, caso o âmbito de aplicabilidade seja compaginável com o uso pretendido.

Coletivamente, as atividades económicas em questão, totalizam um consumo de, aproximadamente, 16 000 m³ por ano.

Entenda-se que o termo:

- a) “Indústria” inclui apenas indústria transformadora, nomeadamente a indústria metalomecânica e de fabricação de produtos químicos e gases industriais, que utilizam água no seu processo industrial, para além do uso doméstico;
- b) “Comércio” compreende o comércio de sementeiras, frutas, produtos hortícolas e bebidas, que utilizam água para a rega de culturas e para a lavagem de veículos/armazém, para além do uso doméstico;
- c) “Outras atividades de serviços” corresponde a lavandarias e a centros de lavagem automóvel, que utilizam a água, para além do uso doméstico, para refrigerar as máquinas dedicadas à limpeza a seco e para lavagem automóvel, respetivamente;
- d) “Agricultura” é relativo às atividades agrícolas e à produção animal, que utilizam água para a rega de culturas de produção alimentar e para pastoreio, para além do uso doméstico;
- e) “Transportes e armazenagem” considera o transporte rodoviário de mercadorias, assim como o transporte terrestre, urbano e suburbano, de passageiros, que utilizam água para a lavagem da frota, para além do uso doméstico.

Caracterização das origens de água disponível

Todos os potenciais utilizadores têm, unicamente, acesso exclusivo à rede pública, não tendo sido identificadas outras fontes (e.g. furo).

5.4.1. Inquérito potenciais utilizadores de água residual tratada

O interesse dos utilizadores, cujas atividades económicas são as mais consumidoras de água e com maior potencial para reutilizar água, é de extrema importância.

Nesse sentido, procedeu-se a um inquérito (Anexo D) cujos objetivos podem ser associados a 4 fases (Figura 5.5), sendo a primeira a identificação do responsável pela resposta e a caracterização do setor da unidade ou organização; a segunda relativa a conhecimentos gerais da temática; a terceira inerente à aceitação pública no uso de água residual tratada e, por fim, a quarta sobre a aplicabilidade da água residual tratada no setor.

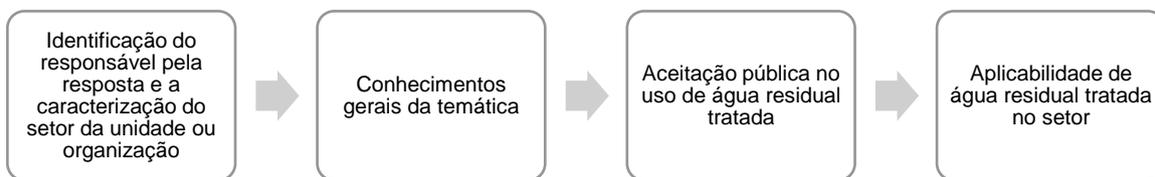


Figura 5.5 - Fases do inquérito

Na primeira fase determinou-se a dimensão da amostra, que é composta por 13 pessoas (das 21 identificadas pela Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos) das quais oito são do sexo masculino e cinco do sexo feminino, com idades compreendidas entre os 36 e os 62 anos, sendo a média de idades de 54 anos.

Os responsáveis pelas respostas desempenham funções de direção e gestão das unidades de negócio ou das organizações, com exceção de dois inquiridos, que exercem funções num departamento dedicado à qualidade, higiene e segurança no trabalho.

Na segunda fase colocaram-se diversas questões, nomeadamente:

- Sabe o que é água residual tratada?
- Tem conhecimento de possíveis usos para a reutilização de águas residuais tratadas?
- Selecione, em sua opinião, quais as maiores vantagens da reutilização de água?
- Selecione, em sua opinião, quais os maiores obstáculos à reutilização de água?

Os resultados obtidos nos conhecimentos gerais da temática permitem aferir que, apenas 60%, sabe de facto o que são águas residuais tratadas, sendo o remanescente dividido entre “não sei” (20%) e “já ouvi falar” (20%).

Relativamente à identificação dos possíveis usos da água residual tratada (Figura 5.6), a maioria dos inquiridos selecionaram as opções de rega de espaços verdes (80 %), combate a incêndios (60%), lavagem de veículos (60 %) e utilizações em processos industriais (60 %).

Aplicações como uso agrícola (40 %) e lavagem de estradas (40 %), que estão amplamente difundidas, são opções que as precedem.

O consumo humano e o uso doméstico (e.g. recarga de autoclismos) constituem as únicas opções às quais nenhum inquirido demonstrou conhecimento de alguma experiência praticada.

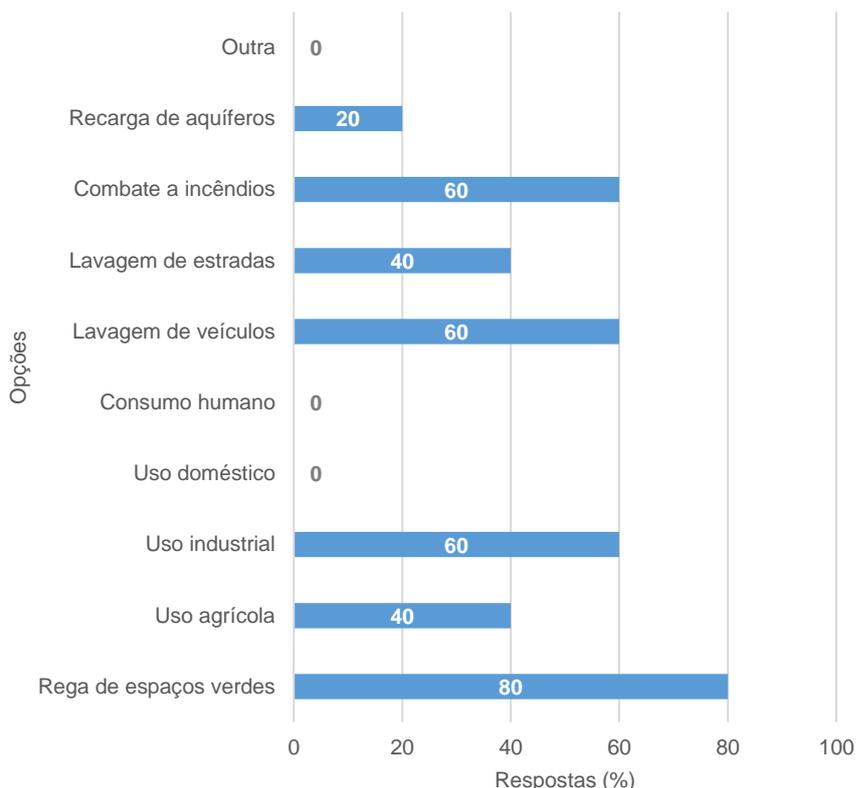


Figura 5.6 - Respostas à pergunta sobre o conhecimento dos possíveis usos da água residual tratada

As maiores vantagens mencionadas na reutilização de água (Figura 5.7) prendem-se com ganhos ambientais (100 %) e com a poupança de água potável (80%).

De notar, que os ganhos ambientais consideram o aumento da resiliência face às alterações climáticas, que têm intensificado situações de escassez hídrica. Enquanto, os ganhos económicos atendem ao facto de a água residual tratada poder ser economicamente mais viável. No que se refere à imagem/certificação das empresas, existem atualmente indicadores de eficiência hídrica desenvolvidos no PNEUA 2012-2020, nomeadamente a pegada ambiental água-energia e a certificação hídrica dos edifícios.

Por outro lado, os maiores obstáculos (Figura 5.8) relacionados com a reutilização de água incluem a falta de informação acerca da temática, assim como a possibilidade de investimento, por parte das empresas, em transporte e/ou armazenamento de água residual tratada.

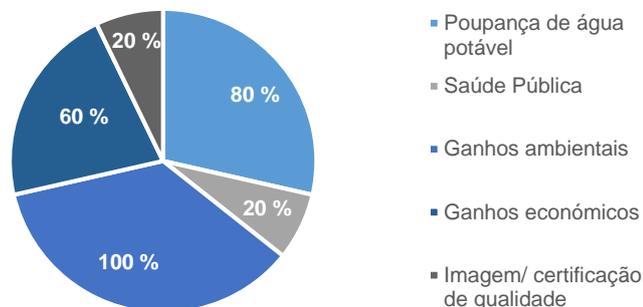


Figura 5.7 - Respostas à pergunta relativa às maiores vantagens na reutilização de água

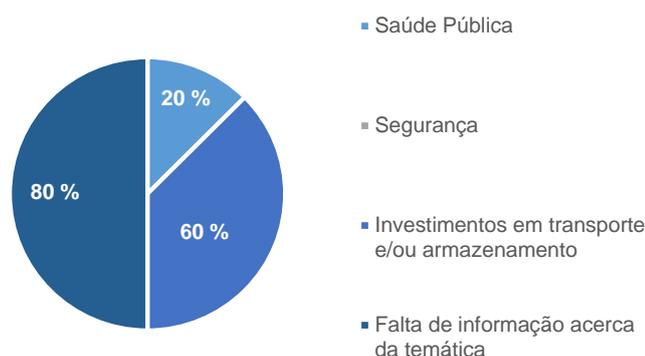


Figura 5.8 - Respostas à pergunta relativa aos maiores obstáculos na reutilização de água

Na terceira fase do inquérito, realizaram-se três perguntas no âmbito da aceitação pública, nomeadamente:

- Opõe-se à reutilização de água?
- Aceitaria utilizar água residual tratada?
- Qual o aspeto mais relevante/ crítico na utilização de água residual tratada?

As respostas obtidas revelam que nenhum inquirido se opõe a práticas de reutilização de água. No entanto, 80% aceitaria utilizar água tratada e, somente, 20% a utilizaria na sua unidade de negócio/organização. Acresce o facto de o aspeto mais relevante/crítico ser a monitorização, controlo e acesso à informação dos mesmos (80%), seguido de questões de segurança (20%) e saúde pública (20%). A opção “água mais barata” nunca foi seleccionada.

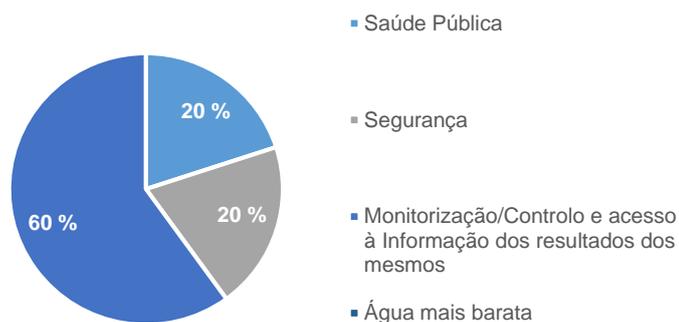


Figura 5.9 - Respostas à pergunta relativa ao aspeto mais relevante/crítico na reutilização de água

A última fase do inquérito, que é relativa às práticas de reutilização de água nas próprias empresas, atendeu ao tipo de usos e condições a que as mesmas consideram aceitável aplicar água residual tratada.

A maior parte dos inquiridos identificou como principais usos a lavagem de veículos e o uso em processos industriais. Questionados acerca da qualidade da água a reutilizar, todos concordaram com o cumprimento dos requisitos definidos nas diretrizes e recomendações propostas por entidades como a Organização Mundial de Saúde e a Agência Europeia do Ambiente. Ninguém exigiu um referencial de qualidade específico.

No que concerne aos constrangimentos de utilização deste recurso hídrico nas atividades económicas, os inquiridos foram confrontados com a necessidade de sensibilização dos operadores/ trabalhadores, assim como com os custos do transporte e/ou armazenamento e infraestruturas associadas. As respostas obtidas revelam que a maior preocupação se centra nos custos (80 %), sendo precedida pela sensibilização da temática na empresa (20 %).

Colocada a questão sobre vantagens competitivas na implementação de reutilização de água nas organizações, os inquiridos selecionaram três opções, nomeadamente: certificação ambiental (60 %) e inovação e desenvolvimento (60 %).

Por último, questionou-se se aceitariam utilizar água residual tratada, como alternativa à água de abastecimento, se o preço da água residual tratada fosse zero e se fosse inferior/ igual ou superior à água de abastecimento. As respostas obtidas (Figura 5.10) revelam a preferência por água residual tratada em situações que constituam uma opção economicamente viável. Pois, mesmo em situações de custo igualitário, somente 40% dos inquiridos preferem a utilização de água residual à água de abastecimento, sendo que nenhum opta por reutilizar água cujo custo seja superior ao custo da água de abastecimento.

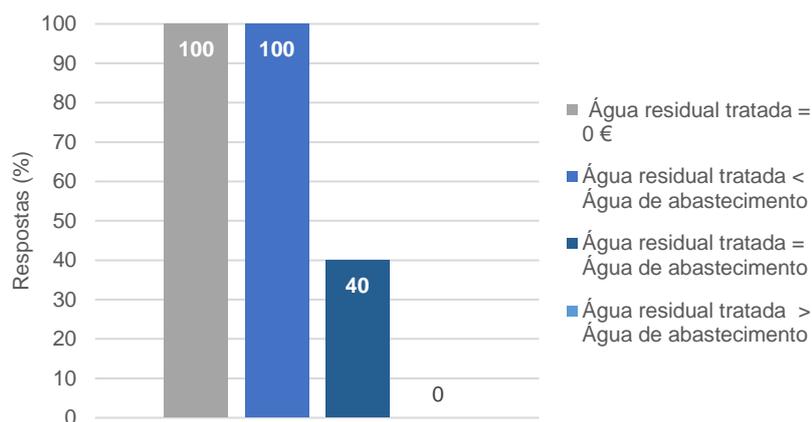


Figura 5.10 - Respostas positivas (%) à pergunta relativa sobre o custo da água residual tratada versus o custo da água de abastecimento

5.5. ETAR de Arruda dos Vinhos

A Águas do Tejo Atlântico, S.A., é responsável pela gestão e exploração do sistema multimunicipal de saneamento de águas residuais do Município de Arruda dos Vinhos, tendo como funções atuais a recolha, o tratamento e a rejeição dos efluentes.

Construída enquanto imperativo ambiental (e.g. proteção dos recursos hídricos), a ETAR de Arruda dos Vinhos localiza-se na margem direita do Rio Grande da Pipa, distanciando-se da Vila de Arruda dos Vinhos em 850 metros (Figura 5.11). De notar, que a mesma insere-se na Região Hidrográfica do Tejo (RH5) e na Bacia Hidrográfica do Tejo (BH14), cujo estado da água está classificado como razoável.

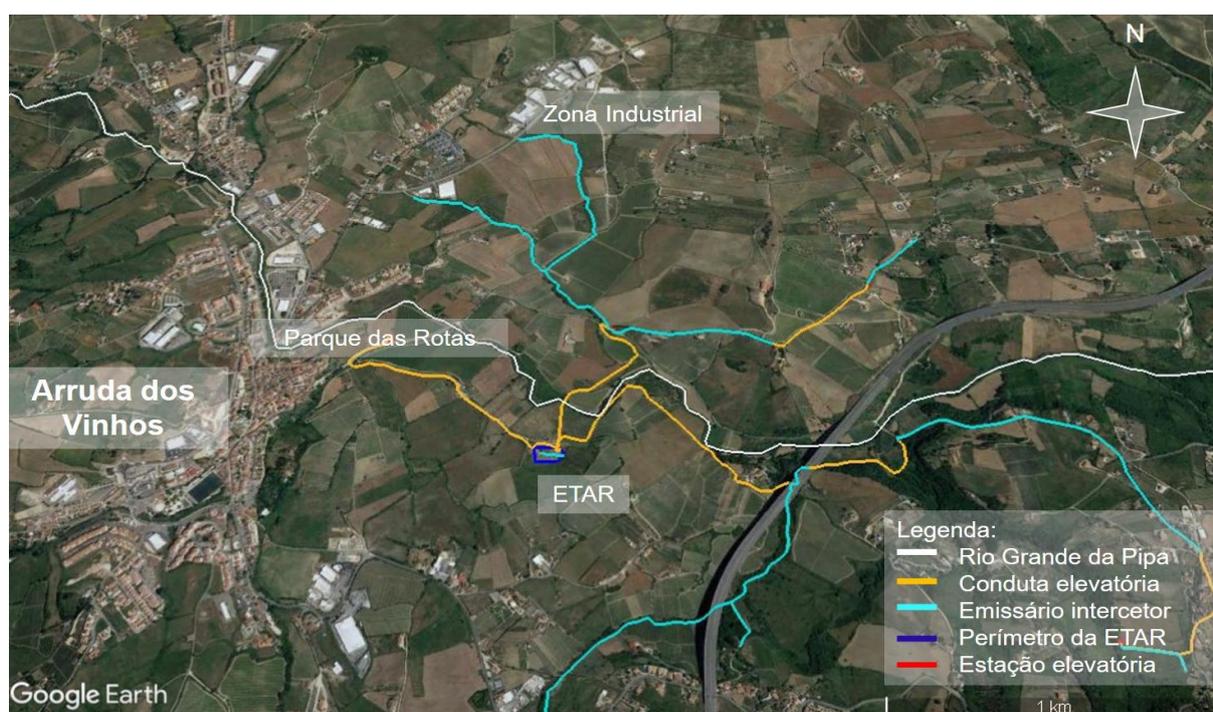


Figura 5.11 - Localização da ETAR de Arruda dos Vinhos

Segundo a “Licença de Utilização dos Recursos Hídricos – Rejeição de Águas Residuais” (2014), a ETAR de Arruda dos Vinhos tem implantado o nível de tratamento secundário, sendo a fase líquida constituída por uma elevatória inicial com gradagem, obra de entrada com desarenador/desengordurador, tanque de arejamento e decantador secundário; e a fase sólida constituída por espessador gravítico, filtro de banda e unidade móvel de desidratação (Figura 5.12).

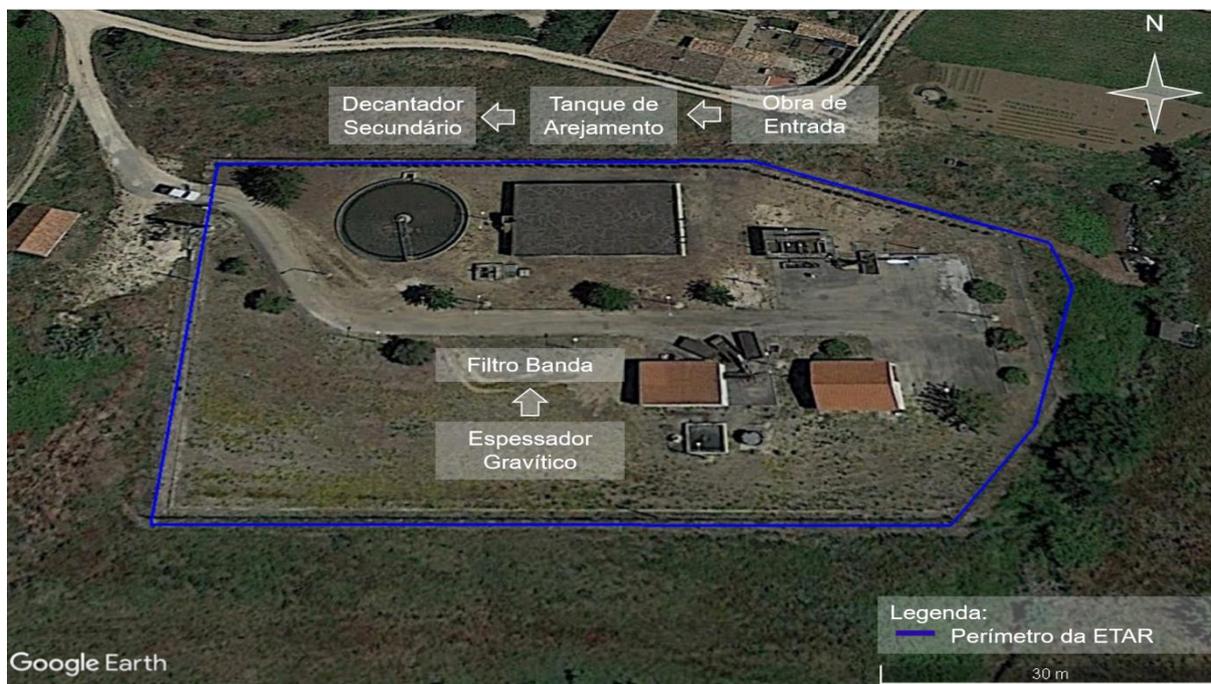


Figura 5.12 - Linha de tratamento das fases líquida e sólida da ETAR de Arruda dos Vinhos

5.5.1. Água Residual Tratada Produzida na ETAR de Arruda dos Vinhos

Em 2017, afluiu à ETAR de Arruda dos Vinhos um caudal médio diário de 625 mil m³/ano, proveniente de três condutas elevatórias, nomeadamente, dos lugares de Arruda dos Vinhos, Cardosas e Quinta da Marinheira.

O caudal máximo e mínimo afluyente corresponde a 79 mil m³/mês, em Março, e 35 mil m³/mês, em Setembro, respetivamente (Figura 5.13).

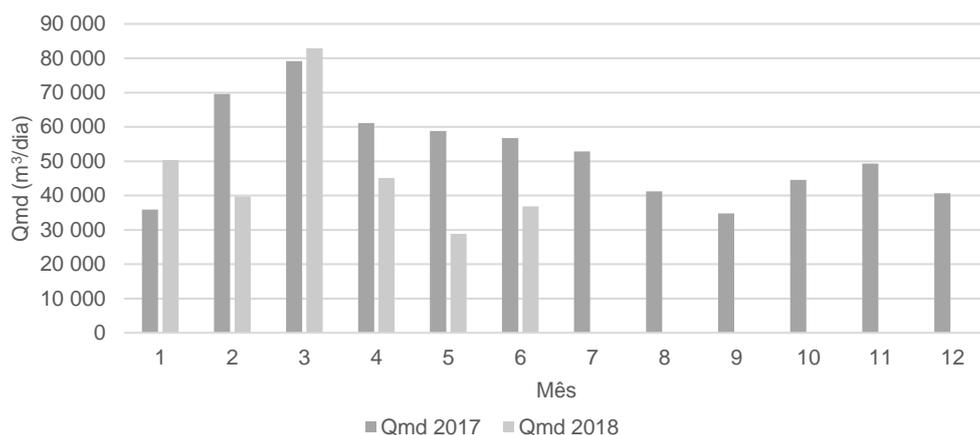


Figura 5.13 - Caudal médio diário mensal afluyente à ETAR de Arruda dos Vinhos

O caudal médio diário é, aproximadamente, de 1 700 m³/dia, sendo o mesmo medido durante o ano de 2017 e o primeiro semestre de 2018.

Atendendo ao facto de a ETAR consumir cerca de 500 m³/mês em água de serviço, proveniente da rede pública de abastecimento, prevê-se a reutilização desse volume de água.

Por conseguinte, estima-se tratar um volume de água que considere os usos urbanos e os usos internos da ETAR, bem como os usos resultantes de situações de escassez hídrica, totalizando um caudal médio diário de 140 m³/dia (Figura 5.14).

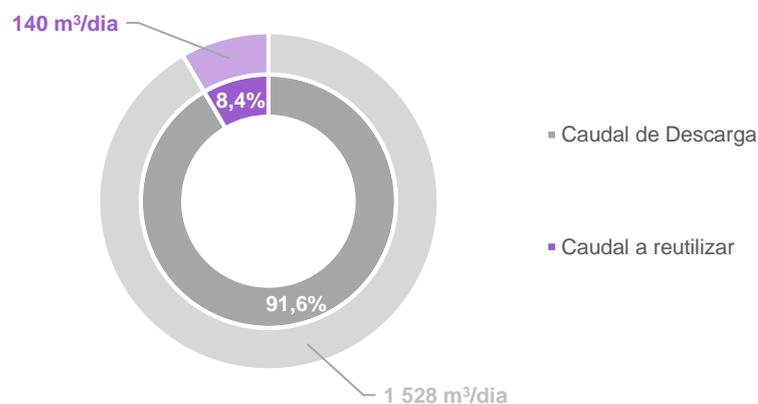


Figura 5.14 - Desagregação da água residual afluyente à ETAR pelo caudal a descarregar e pelo caudal a reutilizar

5.6. Projeto de Reutilização de Água na ETAR de Arruda dos Vinhos

5.6.1. Limitações

Tendência das captações vs. Evolução dos equivalentes populacionais

A atual captação de 261 L/(hab.dia), não corresponde à captação doméstica, i.e., ao volume de água que, em média, cada habitante gasta diariamente. Este valor de captação é relativo à captação global,

refletindo a água que é, efetivamente, necessária para cada habitante. Nesse sentido inclui os consumos domésticos, industriais, comerciais e públicos, bem como os consumos efetuados para combate a incêndios e relativo às perdas (e.g. falhas na rede de distribuição e ligações clandestinas).

À ETAR afluem os efluentes urbanos, que contabilizam a água residual produzida pelo consumo doméstico (1 308 m³/dia) e pelo consumo não doméstico (360 m³/dia).

O potencial de reutilização de água depende da manutenção e do desenvolvimento económico da Freguesia de Arruda dos Vinhos. De facto, as atividades económicas apresentam as maiores necessidades de consumo de água (capitações) em utilizações que não requerem potabilidade (e.g. refrigeração de máquinas de secar e lavagem de frotas de transportes de mercadorias).

Projeção do volume de água a reutilizar

A projeção do caudal a reutilizar (Figura 5.15) teve por base a estimativa do caudal a descarregar e a taxa de geométrica de crescimento populacional (1,7 %), desde o ano zero (2019) até ao ano horizonte de projeto (2039).

Os dados relativos a 2019, para o tratamento de um caudal afluente de 1 668 m³/dia, apresentam um potencial de reutilização de 8,39 %, atendendo ao facto de se descarregarem 1 528 m³/dia, para o Rio Grande da Pipa, e de se reutilizarem 140 m³/dia em usos urbanos e usos internos da ETAR.

Por outro lado, em 2039, os dados obtidos revelam que será expectável tratar 2 517 m³/dia e descarregar 2 377 m³/dia. Deste modo, caso a região não sofra de situações de escassez inesperadas e caso não haja a integração futura dos usos das potenciais empresas identificadas, o caudal de água a reutilizar, no município, manter-se-á em 140 m³/dia, sendo o seu potencial de reutilização reduzido a 5,56 %.

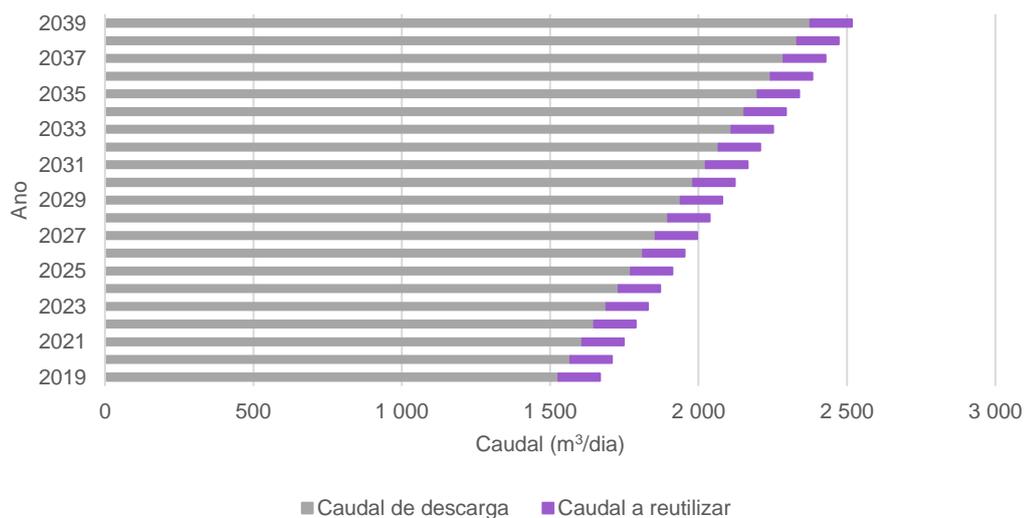


Figura 5.15 - Projeção do caudal a descarregar e a reutilizar sem a integração futura das empresas

Adicionalmente, analisou-se diversos cenários que preveem o acréscimo de caudal a reutilizar, pela integração futura das empresas (Tabela 5.3 e Figura 5.16). Deste modo, determinou-se que, com o acréscimo de 95% do caudal das mesmas, em 2039, o potencial de reutilização será de 7,17 %. Este valor resulta num aumento de 1,61%, face ao expectável sem a integração das mesmas.

De notar, que não se considerou o acréscimo de 100% do caudal, dado que, para além de poder existir perdas no sistema de distribuição da água residual tratada, o tipo de tratamento viável para Arruda dos Vinhos não engloba usos potáveis, nem algumas utilizações não potáveis, como a recarga de autoclismos.

Tabela 5.3 - Resultados obtidos da integração das atividades económicas na utilização de água residual tratada

Cenários	Integração empresarial (%)	Acréscimo de caudal a reutilizar (m³/dia)	Caudal total a reutilizar (m³/dia)	Potencial de reutilização final (%)	
				2019	2039
1	25	10,7	151,67	9,03	5,99
2	50	21,3	161,3	9,67	6,41
3	75	32,0	172,00	10,31	6,83
4	95	40,5	181,53	10,82	7,17

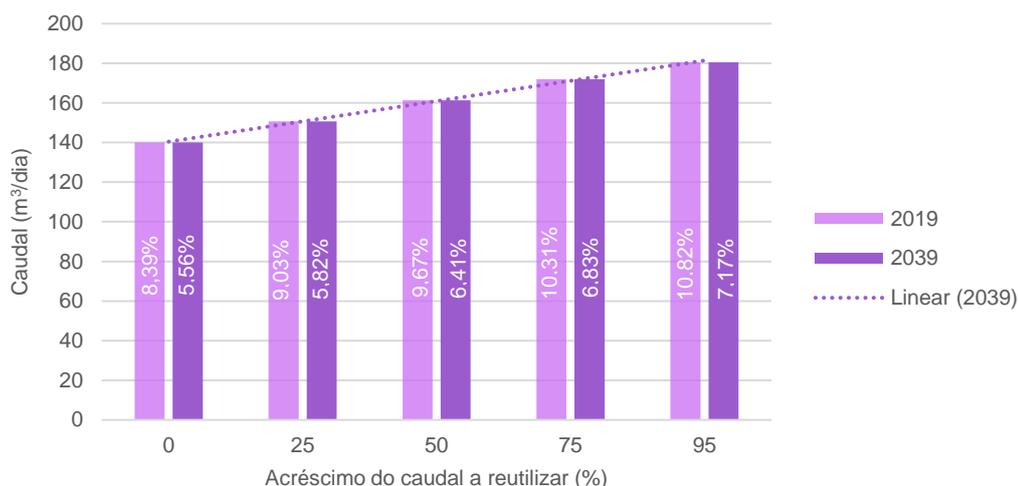


Figura 5.16 - Acréscimo de caudal a reutilizar pela integração das empresas

Tipo de tratamento instalado

A ETAR de Arruda dos Vinhos está subdimensionada, servindo atualmente um número superior a 8 000 equivalentes populacionais. O projeto de remodelação encontra-se em curso, com um investimento estimado em um milhão de euros, de acordo com a informação disponibilizada por uma entidade competente da Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos, e com a possibilidade de introdução de tratamento primário, segundo uma entidade competente das Águas Tejo Atlântico.

No presente trabalho, consideram-se que as condições finais de descarga do efluente secundário estão em condições normais de funcionamento, respeitando o disposto na legislação aplicável, conforme os valores limites definidos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Condições finais de descarga da ETAR de Arruda dos Vinhos

Parâmetro	Unidade	Valor	Legislação Aplicável
pH (Escala de Sorensen)	-	6-9	(a)
Carência Bioquímica de Oxigénio	mg/L	25	(b)
Carência Química de Oxigénio	mg/L	125	(b)
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	35	(b)
Óleos e Gorduras	mg/L	15	(a)

(a) Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto; (b) Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho

Localização da ETAR vs. Sistema de distribuição de água residual tratada

A localização da ETAR favorece o sistema de drenagem de águas residuais, promovendo o escoamento gravítico nos emissários interceptores. Por oposição, a adução da água residual tratada será efetuada, predominantemente, por condutas elevatórias.

As condutas elevatórias representarão um custo adicional bastante significativo inerente ao elevado consumo energético.

Acresce o facto de a aplicação de água residual tratada nos usos urbanos, que não incluem a rega do parque urbano, terão de ser preconizados com o auxílio de camiões-cisterna, como acontece em Lisboa nos serviços dedicados à lavagem de ruas (Figura 5.17).



Figura 5.17 - Camião-cisterna dedicado à lavagem das ruas de Lisboa (Lisboa E-nova, 2013)

Outra opção será a extensão do sistema de adução, através da sua ramificação até aos locais ideais a definir pela câmara, atendendo que a mesma pretende conjugar o tecido industrial com o urbano.

A Figura 5.18 permite visualizar o traçado dos sistemas de drenagem dos efluentes e do sistema de distribuição (adução) de água residual tratada, entre a ETAR e o Parque das Rotas.

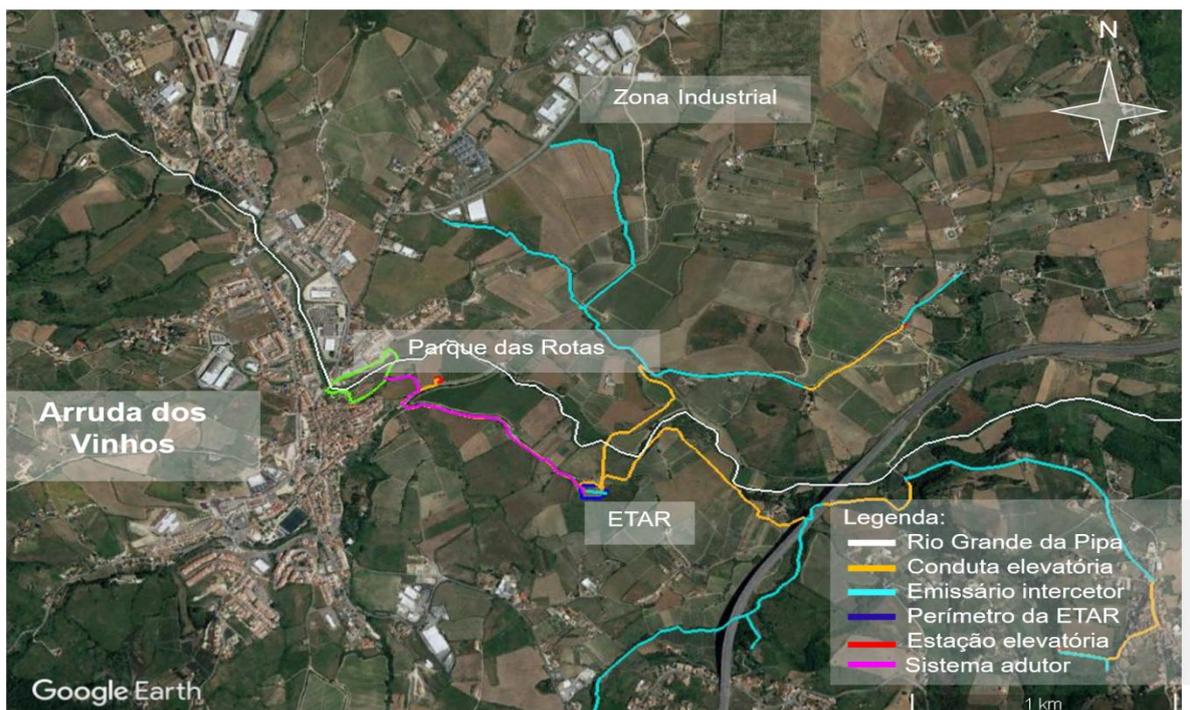


Figura 5.18 - Traçado do sistema de drenagem e do sistema adutor

Armazenamento

A ETAR não possui qualquer opção de armazenamento para água residual tratada, sendo necessário e possível construir um reservatório dentro do seu perímetro.

Complementarmente, deverá ser construído um outro reservatório no Parque das Rotas. Ambos com funções diferentes: distribuição e de reserva, respetivamente.

A possibilidade de construir um reservatório elevado na ETAR, para diminuir os custos associados ao consumo energético e equipamentos foi colocada de parte, devido ao seu impacto paisagístico. De facto, a zona envolvente da ETAR, próxima do centro urbano de Arruda dos Vinhos, é caracterizada por culturas rasteiras e terrenos vinícolas.

Qualidade da água residual tratada

Identificaram-se usos urbanos e recreativos restritos, assim como usos urbanos não restritos (Figura 5.19).

Os usos urbanos e recreativos não restritos englobam a rega do jardim municipal e do campo de futebol de Arruda dos Vinhos, assim como a rega do novo parque urbano, o Parque das Rotas. Nos locais em questão desenvolvem-se inúmeras atividades lúdicas e desportivas, onde existirá contacto direto entre os utilizadores e a água residual tratada utilizada na rega.

O usos urbanos restritos incluem a lavagem de ruas e a reserva de água para combate a incêndios e para potenciais situações de escassez hídrica. Complementarmente, a aplicação de água de abastecimento utilizada como água de serviço da ETAR de Arruda dos Vinhos, que compreende a limpeza de equipamentos e a lavagem de arruamentos, será substituída por água apta a reutilizar.

A integração futura das atividades económicas requiere água para a refrigeração de processos industriais, nomeadamente para máquinas de limpeza a seco presentes nas lavandarias, e para a lavagem de frota automóvel.

Atendendo à tipologia dos usos, a qualidade da água apta a reutilizar compreenderá o seguinte referencial de qualidade 10 mg/L de CBO5, 5 mg/L de SST, 0 coliformes fecais/100mL e 1 mg/L Cl₂ residual.

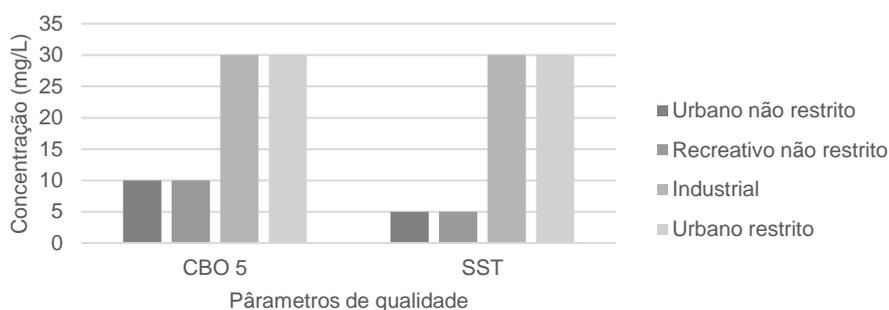


Figura 5.19 - Qualidade da água a reutilizar

Deste modo, os usos urbanos restritos e os usos industriais beneficiarão de um tratamento cujo referencial de qualidade será superior às suas necessidades e, portanto, o custo de água que pagarão será relativamente superior ao custo inerente a uma qualidade de água inferior.

Controlo e monitorização da qualidade da água residual tratada

A recomendação n.º 2/2007 do IRAR, prevê que a responsabilidade pelo cumprimento dos requisitos de qualidade da água a reutilizar seja da entidade gestora, assim como a responsabilidade pelo controlo no ponto de entrega, caso a distribuição (armazenamento, elevação e transporte) não seja efetuada por uma entidade terceira.

Adicionalmente, a recomendação em questão refere que os planos de monitorização da qualidade da água devem satisfazer os requisitos presentes na Norma Portuguesa NP:4434 e as recomendações da Organização Mundial de Saúde, em complemento à legislação aplicável.

Recomendações e boas práticas em sistemas de reutilização de água

A água apta a reutilizar deve atender às recomendações e às boas práticas presentes no RGSPDADAR (1995) e no Manual de Redes Prediais da EPAL (2011), para os sistemas de reutilização de água e para a manutenção dos reservatórios que lhes são inerentes.

Os principais aspetos a ter em conta são:

- Sinalética “Água não Potável” em todos os pontos que não tenham abastecimento a partir da rede pública (Figura 5.20);
- Tubagens do sistema de distribuição de água residual tratada claramente distintas, possuindo cor púrpura;

- Medição do caudal a reutilizar;
- Lavagem e desinfecção regulares do sistema de distribuição, uma vez que há tendência para deposição de sedimentos e/ou desenvolvimento de microrganismos que podem modificar o teor de cloro residual da água.
- Lavagem e desinfecção efetuadas com recurso a produtos certificados (e.g. hipoclorito de sódio) e deverão ser efetuadas por operadores sujeitos a equipamento específico, nomeadamente proteção respiratória e ocular, luvas, calçado e vestuário de proteção adequados.



Figura 5.20 – Sinalética, dispositivos e tubagens inerentes ao sistema de reutilização de água (ERSAR, 2018)

5.6.2. Soluções de Tratamento

O tratamento terciário a adotar na ETAR de Arruda dos Vinhos tem como objetivo afinar parte do efluente secundário, por forma cumprir os requisitos de qualidade da água requeridos pelos usos urbanos e pelos usos internos da própria instalação.

Deste modo prevê-se o seguinte esquema geral (Figura 5.21):



Figura 5.21 – Esquema geral relativo ao tratamento, armazenamento e distribuição da água residual tratada

A seleção do tratamento terciário teve por base diversos pressupostos, particularmente as diretrizes de normas e recomendações disponíveis no subcapítulo “Requisitos de Qualidade, Monitorização e Segurança na Reutilização de Água”; o Sistema de Apoio à Decisão e as vantagens e desvantagens das tecnologias de tratamento.

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (2012), para os usos urbanos e recreativos restritos o tratamento a jusante do tratamento secundário deverá ser preconizado por desinfecção. Para os mesmos usos, mas cuja prática seja não restrita, recomenda a opção de filtração como complemento a montante da desinfecção.

Com base nos aspetos do Sistema de Apoio à Decisão mencionados no subcapítulo 3.2, importa salientar que quanto maior for o aumento da exigência de tratamento, maior será o aumento aceitável dos níveis de exposição humana e maior será o custo expectável das tecnologias de tratamento.

No que diz respeito às tecnologias de tratamento, a filtração pode ser preconizada de diversos modos. No presente estudo consideraram-se a filtração em areia, microfiltração e ultrafiltração, pois:

- De acordo com Asano et al., (2007), a filtração em profundidade constitui uma opção amplamente difundida como complemento de remoção de SST (incluindo CBO_5) de efluentes cujo destino é a reutilização de água. De Sanctis et al., (2017) acrescenta que a filtração em areia é de operação simples e remove agentes patogénicos como os coliformes fecais e os vírus.
- Segundo Racar et al., (2017) a remoção de SST, com subsequente redução de turbidez e carência de oxigénio, pode ser garantida com a implantação de tecnologias de separação por membranas. Metcalf & Eddy, 2014 complementa que as tecnologias de separação de membranas, também, permitem remover protozoários, bactérias e vírus.
- Por exclusão do âmbito preferencial de aplicabilidade da nanofiltração e da osmose inversa, mencionadas por Salehi, (2014) e por Lau & Pérez de los Ríos, (2018), respetivamente.

Relativamente à desinfecção selecionaram-se como opções o cloro na forma de hipoclorito de sódio, o ozono e a radiação ultravioleta, porque:

- Segundo Collivignarelli et al., (2018) a desinfecção com cloro é o processo mais difundido, que constitui um agente bactericida e uma opção económica.
- Segundo a Recomendação IRAR n.º 5/2007 utiliza-se comumente hipoclorito de sódio em pequenas instalações, uma vez que é o produto de maior simplicidade de utilização.
- De acordo com Lazarova et al., (2013) o ozono tem demonstrado ser o desinfetante mais efetivo e tem sido amplamente utilizado para inativar bacterias, vírus, protozoários e oxidar orgânicos refratários (redução de CQO).
- Roccaro, (2018) defende que a desinfecção com UV constitui a única opção que não forma subprodutos e cuja complexidade da tecnologia é reduzida.
- Os PAO apresentam um custo de capital e de operação e manutenção muito elevados, segundo Roccaro, (2018).
- De acordo com De Souza et al., (2015) o custo do ácido peracético é superior aos processos de desinfecção por cloragem e apresenta uma reduzida eficiência na remoção de alguns vírus e parasitas.

Os diversos cenários apresentam-se conforme ilustra a Figura 5.22.

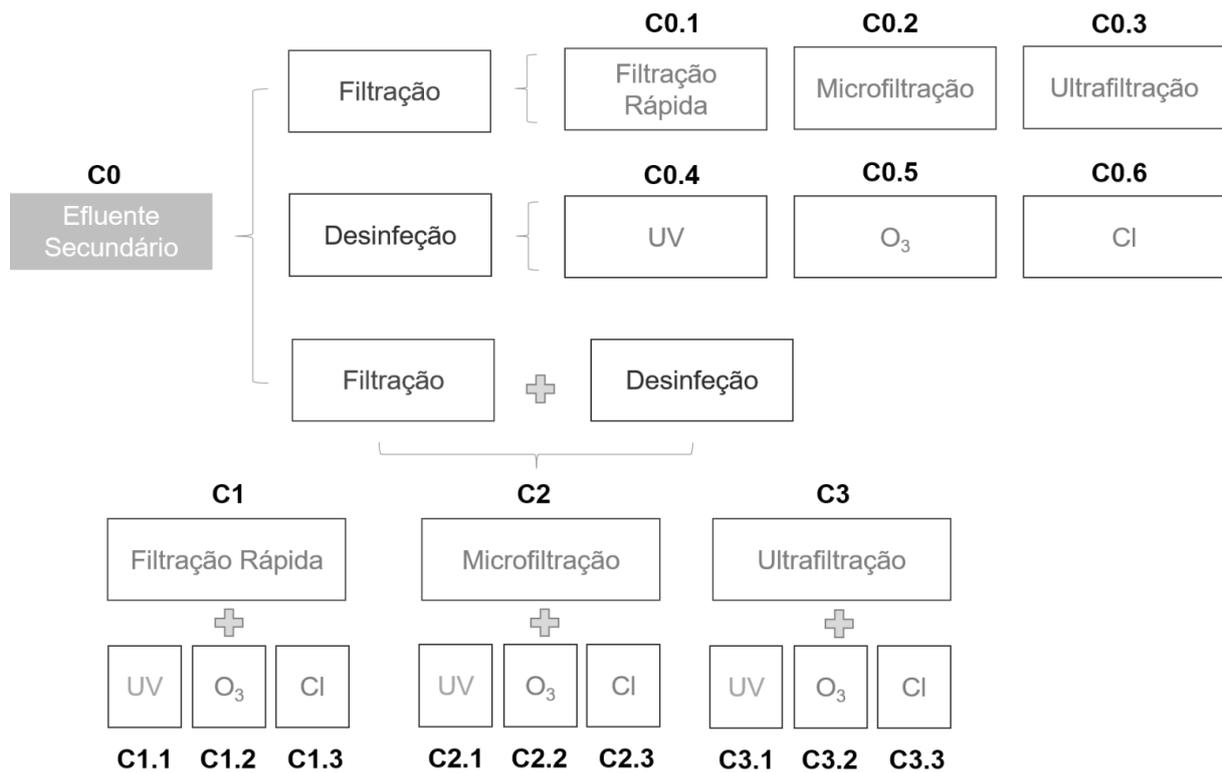


Figura 5.22 - Cenários possíveis de tratamento para reutilizar água

De notar, que todos os cenários estão sujeitos à adição de cloro, por forma a manter o residual de desinfecção ao longo do sistema de distribuição, evitando o desenvolvimento de biofilme e o reaparecimento de agentes patogénicos.

Adicionalmente, importa referir que a filtração do efluente secundário a jusante do tratamento implantado deve-se ao facto de o mesmo acomodar atualmente (e, provavelmente, após o projeto de remodelação) um tratamento biológico preconizado por lamas ativadas. De facto, um desequilíbrio no sistema biológico (e.g. crescimento de bactérias filamentosas) pode originar uma elevada concentração de sólidos suspensos totais no decantador secundário, afetando o SVI e a carga hidráulica desta operação unitária. Consequentemente, esta destabilização impede a remoção efetiva dos flocos biológicos, que colocarão em causa a eficiência da desinfecção (e.g. transmitância da radiação ultravioleta) e/ou a qualidade da água a reutilizar.

Por outro lado, o facto de a desinfecção poder ser preconizada a jusante do tratamento secundário deve-se ao facto de o projeto de remodelação poder incluir uma opção tecnológica que acomode a operação de filtração (e.g. reator biológico de membranas).

5.6.3. Soluções de Distribuição – Armazenamento, Elevação e Transporte

O sistema de distribuição proposto entre a ETAR e o Parque das Rotas, considera a definição de quatro troços, nomeadamente dois troços gravíticos (G1 e G2) e outros dois bombados (B1 e B2), atendendo à configuração do terreno (Figura 5.23).

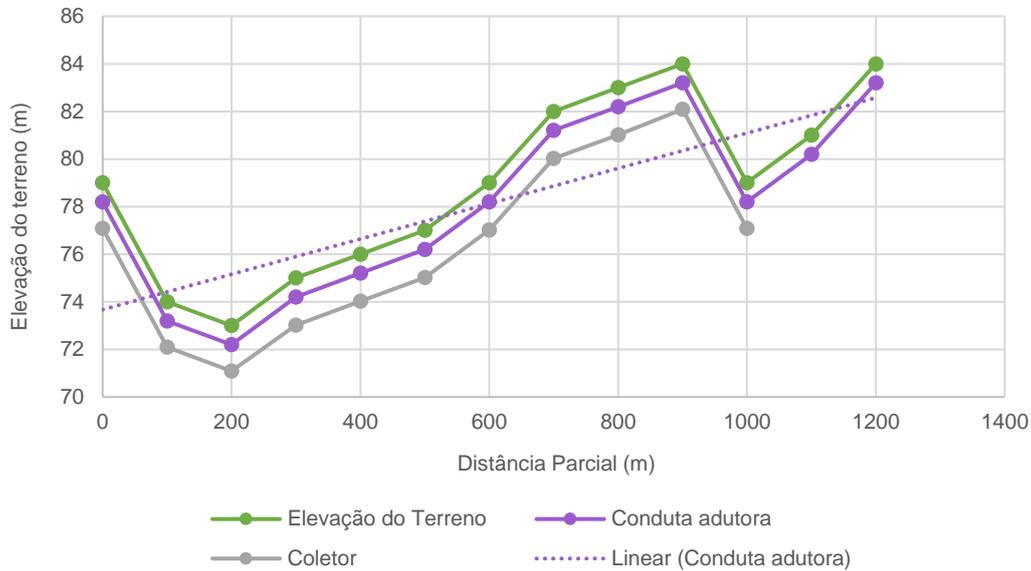


Figura 5.23 - Desenvolvimento do traçado dos sistemas de drenagem e de adução entre a ETAR e o Parque das Rotas

Ao caudal de reutilização de água de 140 m³/dia adicionou-se um caudal de perdas (i.e., 20 % do mesmo) e um fator de ponta (1,5), resultando num caudal de dimensionamento de 238 m³/dia. Os diâmetros comerciais ajustados para cada troço, assim como o custo de cada troço, apresentam-se na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Características dos troços do sistema de distribuição

Distância à Origem (m)	Elevação do Terreno (m)	Troços	Diâmetro Comercial (mm)	Custo (€)
0	79	G1	PEAD 110	3 600
100	74			
200	73	B1	PEAD 200	24 500
300	75			
400	76			
500	77			
600	79			
700	82			
800	83	G2	PEAD 110	1 800
900	84			
1000	79	B2	PEAD 200	7 000
1100	81			
1200	84			

De notar, que após selecionados os diâmetros comerciais, o caudal ao longo de todo o sistema de distribuição, cumpre as velocidades mínima (0,6 m/s) e a máxima (2 m/s) estipuladas pelo RGSPDADAR, (1995).

A soma das perdas de carga total dos troços B1 (12,87 m) e B2 (5,53 m) resultam numa altura de elevação de 18,40 m. Relativamente aos troços G1 e G2, as perdas de carga contínua resultam em 5,3 m e 2,6 m, respetivamente. A energia disponível estimada para o troço G1 é de 0,7 m, face a 2,4 m para o troço G2.

Atendendo às limitações relativas ao armazenamento, prevê-se a construção de dois reservatórios, um na própria instalação (0 m) e outro no Parque das Rotas (1 200 m).

O reservatório a construir na ETAR de Arrudas dos Vinhos (R1) deverá ser um reservatório de distribuição, dado que o mesmo armazena e alimenta diretamente o sistema de distribuição. Por outro lado, o reservatório a construir no Parque das Rotas (R2) deverá ser de reserva, por forma a assegurar água para rega urbanística, lavagem de ruas e outros usos urbanos, incluindo a reserva para situações de combate a incêndio e de seca.

Prevê-se que ambos os reservatórios sejam semienterrados e de pequena capacidade (25 m³).

Os resultados obtidos no estudo técnico-económico, para a implantação e funcionamento do sistema de distribuição, durante o período 2019-2039, encontram-se dispostos na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Resultados do estudo técnico-económico do sistema de distribuição entre a ETAR e o Parque das Rotas

Volume distribuído (m ³)	Energia consumida (kWh)	Custo (€)							
		Energia	Instalação Bombas	Construção Civil	O&M	Tubagens	R1+R2	Total	Atualizado
1 824 270	130 546	19 582	81 431	47 821	98	36 900	51 500	237 331	233 912

O custo atualizado estimado, é aproximadamente de 194 €/m.

No Anexo E, disponibiliza-se informação mais detalhada do estudo técnico-económico relativo ao sistema de distribuição.

5.6.4. Estudo Técnico-Económico e Ambiental relativo ao Projeto de Reutilização de Água

O estudo técnico-económico e ambiental do projeto de reutilização de água em Arruda dos Vinhos teve por base a aplicação de diversas funções de custo relativamente às tecnologias per si (Tabela 5.7), bem como a aplicação de percentagens, baseadas em dados históricos, dos custos associados à sua implantação, controlo, operação e manutenção (Tabela 5.7).

Atendendo ao facto de as funções de custo serem expressas em dólares, realizou-se a conversão da moeda, com base nas taxas de referência publicadas pelo Banco de Portugal e pelo Banco Central Europeu (1 \$ em 2018 → 0,87 € em 2018), para além de se proceder, nos casos em que as funções de custo remetem para o ano de 2008, à sua atualização (1 \$ em 2008 → 0,97 \$ em 2018) (Banco de Portugal, 2018b).

Tabela 5.7 - Funções de custo das tecnologias seleccionadas para o projeto de reutilização de água (Akhoundi & Nazif, 2018; McGivney & Kawamura, 2008; Willemsen, 2010)

Tecnologias	Equações de custo geral	Equações de custo de capital fixo	Equações de custo de operação e manutenção	Variáveis
Filtração em areia	$\$=158x+11185$ $\$/m^3 = 0,0283$	$\$/m^3/d=10,023$	$\$/m^3 = 0,00689$	X – Área do filtro (SF)
Microfiltração	–	$\$/m^3/d = 285$ $\$/m^3/d = 148$	$\$/m^3 = 0,136$ $\$/m^3 = 0,27$	Mínimo Máximo
Ultrafiltração	–	$\$/m^3/d = 186$ $\$/m^3/d = 186$	$\$/m^3 = 0,146$ $\$/m^3 = 0,57$	Mínimo Máximo
Desinfecção via radiação ultravioleta	–	$\$/m^3/d = 20,8$	$\$/m^3 = 0,006$	–
Desinfecção via ozonização	$\$=89,217*x^{0,6442}$	–	–	X – Volume da câmara de contacto (GAL)
Desinfecção via cloragem	–	$\$/m^3/d = 37,8$	$\$/m^3 = 0,03$	–

Tabela 5.8 - Contributo percentual dos custos relativos à implantação efetiva do tratamento terciário, para as funções de custo (McGivney & Kawamura, 2008)

Custos	%
Processo	30
Circuitos hidráulicos	10
Arranjo do recinto (e.g. terraplanagens)	5
Eletrificação e painel de controlo da instalação	20
Construção civil	35
Total	100

Os resultados obtidos no estudo técnico-económico consideram que os custos de processo do sistema de distribuição e da implantação do tratamento terciário englobam os custos de operação e manutenção (O&M) referentes à construção civil e ao equipamento, incluindo o consumo energético. O remanescente dos custos do sistema de distribuição e da implantação do tratamento terciário foi contabilizado como custos de investimento.

A taxa de refinanciamento do Banco Central Europeu está, atualmente, fixada a 0% (Banco de Portugal, 2018a). No entanto, ao custo total do projeto aplicou-se uma taxa de 2%, devido ao intervalo temporal que existe entre o ano zero (2019) e o ano horizonte do projeto (2039).

Determinou-se o Valor Atualizado Líquido (VAL) por forma a determinar o custo do ciclo de vida do tratamento terciário como sugere Chhipi-Shrestha et al., (2017a). De notar, que o VAL mede o benefício adicional que o projeto de investimento oferece sobre o benefício normal medido pelo custo de oportunidade do capital. Assim, o VAL permite compreender se do capital investido existe retorno suficiente para o projeto se pagar a si próprio.

A análise económica através do VAL tem em consideração dois fluxos: um ligado à realização do investimento (custos de investimento) e outro, progressivo e contínuo, ligado às operações de exploração do projeto (custos O&M). O *cash flow* destes dois fluxos utiliza uma taxa de atualização e uma série de futuros pagamentos (valores negativos) e rendimentos (valores positivos).

No presente projeto, os rendimentos identificados atendem às futuras receitas com a venda de água apta a reutilizar e com os custos evitados. Os custos evitados são referentes ao potencial de poupança previsto com a reutilização de um volume de água de 51 100 m³, por ano. De facto, a taxa de recursos hídricos aplicada à água residual (0,0097 €/m³), permite que a entidade gestora poupe, aproximadamente, 500 €/ano.

Valores negativos do VAL indicam que a venda da água tratada não gera fundos suficientes à taxa de 2% previamente utilizada. Por oposição, quando o VAL é positivo, gera fundos suficientes para amortizar integralmente o valor do investimento e para renumerá-lo anualmente, gerando ainda um excedente de fundos igual ao valor do VAL.

Quando o VAL é igual a zero, o projeto tem uma rentabilidade igual ao custo de oportunidade do capital, assegurando-se que o capital investido é igualado ao capital de retorno, não existindo lucro, nem perdas. Deste modo é possível determinar qual o custo de venda da água residual tratada, para cada um dos diferentes cenários tecnológicos.

Por conseguinte, recorreu-se ao *solver*, uma ferramenta de análise de hipóteses, que permite encontrar um valor otimizado (máximo, mínimo ou valor igual a um valor predefinido) para uma fórmula numa célula, chamada de célula de objetivo, sujeita a restrições ou limites.

A aplicação do *solver* na célula objetivo, i.e., na célula que contém aplicada a função do VAL, foi definida para ser igual a zero, alterando o custo da água residual tratada, para cada cenário, numa célula de variável.

Na Tabela 5.9 apresentam-se os custos globais do estudo técnico-económico do projeto de reutilização de água, que incluem os custos inerentes ao sistema de distribuição de água.

Na Tabela 5.10 encontra-se uma matriz de situações coincidentes entre o custo mínimo e mínimo máximo do ciclo de vida do projeto, somente, para os possíveis cenários de combinação de tecnologias. Dado que o cenário C0 não compreende a aplicação de funções de custo mínimo e máximo.

Tabela 5.9 - Resultados obtidos para a tarifa da água apta a reutilizar, atendendo ao custo do ciclo de vida do projeto

Cenários			Custo do Projeto (€)		Tarifa da água apta a reutilizar (€/m ³)	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
C0	C0.1	FA	-227 707	-230 606	0,2725	0,2760
	C0.2	MF	-228 837	-229 265	0,2739	0,2744
	C0.3	UF	-255 729	-273 365	0,3061	0,3272
	C0.4	UV	-229 602	-	0,2748	-
	C0.5	O ₃	-231 548	-	0,2771	-
	C0.6	Cl	-232 252	-	0,2780	-
C1	C1.1	FA + UV	-230 825	-233 724	0,2763	0,2797
	C1.2	FA + O ₃	-232 537	-235 670	0,2783	0,2821
	C1.3	FA + Cl	-235 593	-236 375	0,2820	0,2829
C2	C2.1	MF + UV	-231 955	-232 383	0,2776	0,2781
	C2.2	MF + O ₃	-233 901	-234 329	0,2799	0,2804
	C2.3	MF + Cl	-234 605	-230 425	0,2808	0,2813
C3	C3.1	UF + UV	-258 848	-276 483	0,3098	0,3309
	C3.2	UF + O ₃	-260 794	-278 429	0,3121	0,3332
	C3.3	UF + Cl	-261 498	-279 133	0,3130	0,3341

Tabela 5.10 – Matriz de situações coincidentes entre o custo do ciclo de vida do projeto mínimo e mínimo máximo dos possíveis cenários de combinação de tecnologias

Custo Mínimo (€/m ³)			Coincidente	Custo Máximo (€/m ³)		
Cenário	Tecnologias	Custo		Cenário	Tecnologias	Custo
C1.1	FA + UV	0,2763	Sim	0,2797	FA + UV	C1.1
C1.2	FA + O ₃	0,2783	Sim	0,2821	FA + O ₃	C1.2
C1.3	FA + Cl	0,2820	Não	0,2781	MF + UV	C2.1
C2.1	MF + UV	0,2776	Não	0,2804	MF + O ₃	C2.2
C2.2	MF + O ₃	0,2799	Não	0,2813	MF + Cl	C2.3
C2.3	MF + Cl	0,2808	Não	0,2829	FA + Cl	C1.3
C3.1	UF + UV	0,3098	Sim	0,3309	UF + UV	C3.1
C3.2	UF + O ₃	0,3121	Sim	0,3332	UF + O ₃	C3.2
C3.3	UF + Cl	0,3130	Sim	0,3341	UF + Cl	C3.3

Com base nos resultados obtidos, para cada cenário, é possível verificar os seguintes aspetos:

- No cenário C0, a opção mais económica de filtração via filtro de areia e de desinfeção é a desinfeção com radiação ultravioleta.
- A solução combinada mais comportável é a filtração rápida em areia com desinfeção via radiação ultravioleta.
- O cenário C0 integra as soluções mais atrativas, com exceção da ultrafiltração, dado que as mesmas atuam de modo isolado.
- Em todos os cenários, a desinfeção preconizada com cloro representa a alternativa de desinfeção menos interessante.
- Os cenários C2 e C3 integram as soluções tecnológicas economicamente menos comportáveis.
- A diferença entre a solução combinada mais económica (C1.1) e menos económica (C3.3) é 0,0367 €/m³.
- Na maioria dos cenários verifica-se que o custo mínimo de uma opção tecnológica corresponde ao custo mínimo máximo, fomentando segurança na seleção das tecnologias.

Adicionalmente importa referir que a média dos custos mínimos para o cenário C1 é de 0,2788 €/m³, para o cenário C2 é de 0,2794 €/m³ e para o cenário C3 é de 0,3116 €/m³.

Acresce o facto de a média dos custos das opções que incluem desinfeção com radiação ultravioleta ser de 0,2962 €/m³, com ozono ser de 0,2986 €/m³ e com cloro ser de 0,32994 €/m³.

Estes dados permitem conferir a ordem crescente de custos relativos às tecnologias de filtração e de desinfeção, apresentados no cenário C0.

Conjuntamente à análise do custo de vida do projeto de reutilização, determinou-se a taxa interna de rentabilidade (TIR). De modo expectável, a TIR obtida em todos os cenários foi igual a 2%, dado que, quando o VAL é zero, a taxa de atualização do projeto corresponde à TIR.

As melhores opções a nível técnico-económico são as que exigem uma menor tarifa da água residual tratada, ou seja, um menor custo.

Nesse sentido, salientam-se as seguintes alternativas tecnológicas:

- No C0, a filtração rápida e a desinfeção via radiação ultravioleta;
- No C1, a filtração rápida combinada com a desinfeção ultravioleta;
- No C2, a filtração rápida combinada com a desinfeção ultravioleta;
- No C3, a filtração rápida combinada com a desinfeção ultravioleta;
- A melhor solução combinada é microfiltração com desinfeção via radiação ultravioleta.

Na Tabela 5.11 apresenta-se a tarifa variável relativa ao tipo de consumos, com interesse para o caso de estudo, de acordo com o tarifário da água de abastecimento aplicado ao Município de Arruda dos Vinhos, assim como a tarifa mais e menos económica previstas para a água apta a reutilizar.

Tabela 5.11 - Tarifário da água de abastecimento aplicado ao Município de Arruda dos Vinhos e tarifas previstas para a água apta a reutilizar

Tarifário da água de abastecimento (€/m ³)		Tarifa da água residual (€)		
Tarifa Variável	Consumo Comerciais e Industriais		Mais económica	Menos económica
	0-50 m ³	1,2692		
	>50 m ³	2,2647		
	Outros Consumos			
	Empresas concessionárias	0,9160		
	Estado e outras pessoas coletivas de direito público	2,2647		
		0,2725	0,3341	

Os resultados da tarifa global da água de abastecimento são superiores aos estimados para a tarifa da água residual tratada. De facto, a diferença entre a tarifa global da água de abastecimento mais reduzida e a tarifa da água residual mais elevada é de 0,5819 €/m³, ou seja, 2,7 vezes mais cara.

No que diz respeito à componente ambiental do estudo técnico-económico, procedeu-se à quantificação das emissões de dióxido de carbono (CO₂) para cada tecnologia (Tabela 5.12), que corresponde ao cenário C0, e, também, para os cenários C1, C2 e C3 (Tabela 5.13).

Tabela 5.12 - Emissões anuais de dióxido de carbono previstas para cada tecnologia

Tecnologia de tratamento	Consumo energético (kWh/m ³) *	Consumo energético (kWh/ano)	Fator de emissão (ton CO ₂ /GWh) **	Emissões de CO ₂ (kg/ano)
Filtração em areia	0,003	140	290	41
Microfiltração	0,175	8 943		2 593
Ultrafiltração	0,200	10 220		2 964
Radiação UV	0,066	3 373		978
Ozonização	0,035	1 789		519
Cloro	0,041	613		178

*Akhoundi & Nazif, (2018); Verlicchi, (2018); ** DGEG/APA, (2015)

Tabela 5.13 - Emissões anuais de CO₂ previstas para os cenários C1, C2 e C3

Cenários			Emissões de CO ₂ (kg/ano)
C1	C1.1	FA + UV	1 019
	C1.2	FA + O ₃	559
	C1.3	FA + Cl	218
C2	C2.1	MF + UV	3 571
	C2.2	MF + O ₃	3 112
	C2.3	MF + Cl	2 771
C3	C3.1	UF + UV	3 942
	C3.2	UF + O ₃	3 482
	C3.3	UF + Cl	3 141

As emissões de dióxido de carbono mais significativas estão associadas às tecnologias de separação por membranas e, como tal, as emissões deste gás com efeito de estufa apresentam maior expressão nos cenários que as integram, particularmente os cenários C2 e C3.

Por oposição, a filtração rápida em areia revela ser a opção com o menor impacto negativo para o ambiente, emitido 73 vezes menos dióxido de carbono que a ultrafiltração.

Relativamente às tecnologias de desinfecção, a cloragem surge como a opção mais sustentável, seguida pela ozonização e, por fim, pela radiação ultravioleta.

O cenário mais sustentável que combina tecnologias de filtração com desinfecção é, portanto, o cenário C1.3 (filtração rápida e cloragem), emitindo 218 kg/ano de dióxido de carbono.

Conjugando os resultados da componente técnica-económica com os da componente ambiental, é possível enaltecer a solução desinfecção com cloro (0,0032 €/m³ menos económica que a desinfecção com radiação ultravioleta) e a solução combinada filtração em areia com desinfecção preconizada por cloro (0,0057 €/m³ mais cara que a opção mais económica – filtração rápida com desinfecção via radiação ultravioleta).

Relativamente ao diferencial do custo do ciclo de vida, a seleção da desinfecção com cloro, face à desinfecção com radiação ultravioleta, implica um acréscimo de 1,2 %, i.e., de 2 650 €. Por outro lado, a seleção de filtração em areia com desinfecção com cloro acarreta uma despesa adicional de 4 768 € (2,1 %).

Por fim, a seleção final das tecnologias deverá atender aos resultados obtidos no estudo técnico-económico e ambiental, assim como à qualidade de água do efluente secundário face à qualidade da água residual tratada requerida, para reutilizar nos usos propostos pelas entidades Câmara de Arruda dos Vinhos e Águas do Tejo Atlântico.

No Anexo F disponibiliza-se informação sobre as disposições construtivas das tecnologias de filtração e de desinfecção e no Anexo G apresenta-se, de modo detalhado, os resultados do estudo técnico-económico relativo ao projeto de reutilização de água.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na presente dissertação permitem concluir o seguinte:

- Existem diversas limitações à implementação do projeto de reutilização, que podem ser passíveis de resolução ou dependentes de circunstâncias/ fatores externos.
- As limitações passíveis de resolução predem-se com o tipo de tratamento instalado, a implantação do sistema de distribuição; soluções de armazenamento; qualidade da água residual tratada e controlo e monitorização do projeto de reutilização;
- As limitações dependentes de circunstâncias/ fatores externos consideram as tendências das capitações e a evolução dos equivalentes populacionais; a projeção do volume a reutilizar e a extensão da rede de distribuição a novos utilizadores;
- Na análise ao inquérito realizado aos potenciais utilizadores industriais e comerciais verifica-se que nenhum agente económico se opõe a práticas de reutilização, apesar de, somente, 20% aceitar desenvolver práticas de reutilização na própria organização. Acresce o facto de 40% dos inquiridos preferirem água de abastecimento face à água apta para reutilizar, para usos não potáveis, quando o custo é igual. Nesse sentido, denota-se uma urgente necessidade de sensibilização e formação. Complementarmente, informação relativa à qualidade da água, monitorização e controlo (identificada como um aspeto crítico), assim como o exemplo da Câmara Municipal podem apelar à motivação e segurança para futuras práticas de reutilização de água no tecido económico.
- O projeto de reutilização de água será implementado para constituir uma fonte de água alternativa à água de abastecimento em usos não potáveis identificados pela Câmara de Arruda dos Vinhos e pelos usos identificados pela entidade gestora Águas do Tejo Atlântico.
- Os usos urbanos e recreativos integram usos restritos tais como rega do jardim municipal, do Parque das Rotas e do campo de futebol municipal, cuja população está em contacto direto com a vegetação.
- Os usos urbanos não restritos integram a lavagem de ruas e a reserva para combate a incêndios e para situações de escassez hídrica.
- A água requerida pela entidade gestora Águas do Tejo Atlântico constituirá água de serviço para a ETAR de Arruda dos Vinhos.

- A integração futura das atividades comerciais e industriais prevêem a reutilização de água em processos de refrigeração industriais e lavagem de frotas, com qualidade de água superior à requerida.
- Com base no estado de arte desenvolvido acerca das tecnologias possíveis de tratamento terciário e atendendo aos aspetos dos sistemas de apoio à decisão, assim como, particularmente, às diretrizes definidas pelas normas e recomendações nacionais e internacionais, definiram-se vários cenários cujas alternativas tecnológicas incluem processos de filtração e de desinfecção, combinados ou não.
- Importa referir que a diferença entre os custos do projeto de reutilização de água e respetivas tarifas, para as várias opções tecnológicas, é pouco significativa, revelando a necessidade de uma análise técnico-económica mais profunda, que, para além de uma base bibliográfica, acomode o contacto direto com empreiteiros e fornecedores de equipamentos.
- O estudo técnico-económico permitiu distinguir as soluções economicamente mais viáveis, salientando-se a desinfecção com radiação ultravioleta (tarifa de 0,2748 €/m³) e a combinação de filtração rápida com a desinfecção via radiação ultravioleta (tarifa mínima de 0,2763 €/m³).
- Importa referir que os custos inerentes à desinfecção preconizada com cloro são, incomumente, superiores aos da desinfecção via radiação ultravioleta. Dado que, os custos relativos ao módulo UV constituído, somente, por duas lâmpadas, representam custos de investimento e de O&M inferiores aos custos inerentes à instalação e operação do hipoclorito de sódio.
- A tarifa prevista para a água apta a reutilizar é economicamente viável, constituindo uma solução, aproximadamente, três vezes mais económica que a tarifa aplicada à água de abastecimento, para o cenário mais inoportável do projeto de reutilização (0,3341 €/m³) e para a situação mais favorável do tarifário da água de abastecimento (0,9160 /€m³).
- É possível diminuir os custos inerentes à taxa de recursos hídricos da água residual em cerca de 500 € por ano, com a reutilização de um caudal de 140 m³/dia, que corresponde a um volume de água de 51 100 m³ por ano.
- A componente ambiental do estudo associada às emissões de dióxido de carbono revela que a tecnologia mais limpa é a filtração em areia e a mais poluente é a ultrafiltração. Relativamente às tecnologias de desinfecção, a que mais contribui para a emissão deste gás com efeito de estufa é a desinfecção via radiação ultravioleta e a que menos contribui é a desinfecção com cloro.

- A solução combinada com menor impacto ambiental é a filtração rápida com desinfecção preconizada com cloro.
- Conjugando os resultados obtidos no estudo técnico-económico, referentes ao custo do ciclo de vida, com os resultados obtidos na componente ambiental do caso de estudo, enaltece-se como solução economicamente mais atrativa e sustentável:
 - a desinfecção com cloro, que custa 0,0032 €/m³ a mais que a pior tecnologia de desinfecção em termos ambientais, a radiação ultravioleta;
 - ou a combinação filtração em areia com desinfecção com cloro (0,0057 €/m³ mais cara que a opção mais económica – filtração rápida com desinfecção via radiação ultravioleta).
- A solução economicamente mais viável e sustentável poderá não corresponder à solução para o projeto de reutilização de água, atendendo que a mesma depende do projeto de remodelação, que prevê que o tratamento secundário cumpra as condições finais de descarga do efluente em condições normais de funcionamento, respeitando o disposto na legislação aplicável, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 152/97, para os parâmetros SST, CBO e CQO, e o Decreto-Lei n.º 236/98, para o pH e óleos e gorduras.

7. PROPOSTAS FUTURAS

As propostas futuras dispõem-se na Tabela 7.1:

Tabela 7.1 - Propostas futuras para a otimização do projeto de reutilização

Problemas/ Desafios	Objetivos	Contribuição para o Projeto
Novos utilizadores de água residual	Identificação e extensão da rede de distribuição de água	Maior potencial de reutilização de água
Aceitação e perceção pública	Formação e sensibilização	Suporte social
Análises microbiológicas da água	Implementação de QMRA	Avaliação dos riscos para a saúde
Definição de medidas preventivas e programas de controlo e monitorização	Implementação na ETAR	Proteção da saúde pública e do ambiente
Balanço mássico após a remodelação da ETAR	Determinar as condições de afluência qualitativas ao tratamento terciário	Complemento para a seleção da opção tecnológica mais adequada
Análise ciclo de vida	Determinar via software SimaPro 8, ou outro similar, com a integração do indicador ECO 99	Complemento para a seleção da opção tecnológica mais adequada

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águas do Tejo Atlântico. (2018, Abril). Água Reciclada, uma Nova Geração de Água, 2, 42. Obtido de https://www.aguasdotejoatlantico.adp.pt/sites/aguasdotejoatlantico.adp.pt/files/publicacoes/revista_adta_18abr.pdf
- 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>
- Alexandrou, L., Meehan, B. J., & Jones, O. A. H. (2018). Regulated and emerging disinfection by-products in recycled waters. *Science of the Total Environment*, 637–638, 1607–1616. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.391>
- Alves, D., Robalo, G., Rosa, J., Caneira, M., Andrade, I., Borges, S., ... Guerreiro, M. J. (2017). Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (ERSAR, p. 186). Obtido de <http://www.ersar.pt/pt/site-publicacoes/Paginas/edicoes-anuais-do-RASARP.aspx>
- Amin, M. M., Bina, B., Ebrahimi, A., Yavari, Z., Mohammadi, F., & Rahimi, S. (2018). The occurrence, fate, and distribution of natural and synthetic hormones in different types of wastewater treatment plants in Iran. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 26(5), 1132–1139. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2017.09.005>
- APA. (2014). Licença de Utilização dos Recursos Hídricos - Rejeição de Águas Residuais.
- APA. (2018). Políticas e Planeamento da Água. Obtido 27 de Junho de 2018, de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9>
- Asano, T., Burton, F., Leverenz, H. L. :, Tsuchihashi, R., & Techobanoglous, G. (2007). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. Metcalf & Eddy | AECOM.
- Bahri, A., Drechsel, P., & Brissaud, F. (2010). Water reuse in Africa: challenges and opportunities. *International Water Management Institute (IWMI)*, 1–16.
- Banco de Portugal. (2018a). BCE juros de refinanciamento - taxa de juros actual e histórico de taxas de juros do Banco Central Europeu. Obtido 23 de Novembro de 2018, de <https://www.bportugal.pt/page/taxas-de-juro-oficiais-do-eurosistema-pol-mon>
- Banco de Portugal. (2018b). Conversor de Moedas. Obtido 23 de Novembro de 2018, de <https://www.bportugal.pt/conversor-moeda?from=USD&to=EUR&date=1542931200&value=1.00>

- Baptista, J. M., & Escudeiro, M. H. (2008). IRAR recomendações de 2005 a 2007. Obtido de <http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/Documentos> de acesso remoto/Recomendações_IRAR_2005_2007.pdf
- 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>
- Bibbal, D., Um, M. M., Diallo, A. A., Kérourédan, M., Dupouy, V., Toutain, P. L., ... Brugère, H. (2018). Mixing of Shiga toxin-producing and enteropathogenic Escherichia coli in a wastewater treatment plant receiving city and slaughterhouse wastewater. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(2), 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.12.009>
- Bibri, S. E. (2018). A foundational framework for smart sustainable city development: Theoretical, disciplinary, and discursive dimensions and their synergies. *Sustainable Cities and Society*, 38, 758–794. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.032>
- Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2017a). On the social shaping dimensions of smart sustainable cities: A study in science, technology, and society. *Sustainable Cities and Society*, 29, 219–246. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.11.004>
- Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2017b). Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*, 31, 183–212. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.016>
- Bolong, N., Ismail, A. F., Salim, M. R., & Matsuura, T. (2009). A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination*, 239(1–3), 229–246. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.020>
- Bonafé, S., & Granelli, M. (2018). *Circular cities - promoting sustainable innovation services within the energy-food-water-climate nexus*. Obtido de www.unibocconi.it/eventi
- Bonato, D., & Orsini, R. (2018). *Urban Circular Economy. Sustainable Cities and Communities Design Handbook*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813964-6.00012-4>
- Brar, S. K., Verma, M., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2010). Engineered nanoparticles in wastewater and wastewater sludge – Evidence and impacts. *Waste management*, 30(3), 504–520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.012>
- Budson, A. E., & Paul, R. S. (2016). Jakob-Creutzfeldt disease. *Memory Loss, Alzheimer's Disease, and Dementia*, (3), 129–131. <https://doi.org/10.1159/000081462>
- Bui, X. T., Vo, T. P. T., Ngo, H. H., Guo, W. S., & Nguyen, T. T. (2016). Multicriteria assessment of

- advanced treatment technologies for micropollutants removal at large-scale applications. *Science of The Total Environment*, 563–564, 1050–1067. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.04.191>
- Buth, J. M., Ross, M. R., McNeill, K., & Arnold, W. A. (2011). Reprint of: Removal and formation of chlorinated triclosan derivatives in wastewater treatment plants using chlorine and UV disinfection. *Chemosphere*, 85(2), 284–289. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.09.003>
- Cascais Ambiente. (2018). 100% das ruas de Cascais são lavadas com águas residuais | Cascais Ambiente. Obtido 21 de Outubro de 2018, de <https://ambiente.cascais.pt/pt/noticias/100-das-ruas-cascais-sao-lavadas-aguas-residuais>
- CCDRLVT. (2017). *Relatório sobre o Estado do Ordenamento do Território de Lisboa e Vale do Tejo*.
- Chawla, P., Kaushik, R., Shiva Swaraj, V. J., & Kumar, N. (2018). Organophosphorus pesticides residues in food and their colorimetric detection. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 10, 292–307. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2018.07.013>
- Chen, X., Richard, J., Liu, Y., Dopp, E., Tuerk, J., & Bester, K. (2012). Ozonation products of triclosan in advanced wastewater treatment. *Water Research*, 46(7), 2247–2256. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.01.039>
- Chhipi-Shrestha, G., Hewage, K., & Sadiq, R. (2017a). Fit-for-purpose wastewater treatment: Conceptualization to development of decision support tool (I). *Science of The Total Environment*, 607–608, 600–612. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.269>
- Chhipi-Shrestha, G., Hewage, K., & Sadiq, R. (2017b). Fit-for-purpose wastewater treatment: Testing to implementation of decision support tool (II). *Science of The Total Environment*, 607–608, 403–412. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.268>
- Choi, S., Johnston, M. V., Wang, G. S., & Huang, C. P. (2017). Looking for engineered nanoparticles (ENPs) in wastewater treatment systems: Qualification and quantification aspects. *Science of the Total Environment*, 590–591, 809–817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.061>
- Collivignarelli, C., Bertanza, G., & Pedrazzani, R. (2000). A comparison among different wastewater disinfection systems: Experimental results. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 21(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/09593332108618137>
- Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Benigna, I., Sorlini, S., & Torretta, V. (2018). Overview of the main disinfection processes for wastewater and drinking water treatment plants. *Sustainability (Switzerland)*, 10(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su10010086>
- Comissão Permanente da Seca. (2017). *Plano de Prevenção, Monitorização e Contigência para Situações de Seca*. Lisboa. Obtido de

https://www.apambiente.pt/_zdata/PoliticAs/Agua/CPS/Reunioes/02_19Jul2017/PlanoMonitorizacaoPrevencaoContingencia_SECA.pdf

- Courault, D., Albert, I., Perelle, S., Fraisse, A., Renault, P., Salemkour, A., & Amato, P. (2017). Assessment and risk modeling of airborne enteric viruses emitted from wastewater reused for irrigation. *Science of the Total Environment*, 592(2016), 512–526. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.105>
- Daher, B., Lee, S., Kaushik, V., Blake, J., Askariyeh, M. H., Sha, H., ... Mohtar, R. H. (2018). Science of the Total Environment Towards bridging the water gap in Texas : A water-energy-food nexus approach, 647, 449–463. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.398>
- Damkjaer, K., Weisser, J. J., Msigala, S. C., Mdegela, R., & Styrihave, B. (2018). Occurrence, removal and risk assessment of steroid hormones in two wastewater stabilization pond systems in Morogoro, Tanzania. *Chemosphere*, 212, 1142–1154. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.053>
- De Gisi, S., Casella, P., Cellamare, C. M., Ferraris, M., Petta, L., & Notarnicola, M. (2017). Wastewater Reuse. Em *Encyclopedia of Sustainable Technologies* (pp. 53–68). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10528-7>
- De Sanctis, M., Del Moro, G., Chimienti, S., Ritelli, P., Levantesi, C., & Di Iaconi, C. (2017). Removal of pollutants and pathogens by a simplified treatment scheme for municipal wastewater reuse in agriculture. *Science of the Total Environment*, 580, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.002>
- De Souza, J. B., Queiroz Valdez, F., Jeranoski, R. F., De Sousa Vidal, C. M., & Cavallini, G. S. (2015). Water and Wastewater Disinfection with Peracetic Acid and UV Radiation and Using Advanced Oxidative Process PAA/UV. *International Journal of Photoenergy*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/860845>
- Decreto-Lei 98/2010. (2010). Estabelece o regime a que obedecem a classificação, embalagem e rotulagem das substâncias perigosas para a saúde humana ou para o ambiente, com vista à sua colocação no mercado. *Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Diário da República n.º 155/2010 - Série I*, (98/2010). Obtido de <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/343084/details/maximized>
- Decreto-Lei n.º 114/2014. (2014). Estabelece os procedimentos necessários à implementação do sistema de faturação detalhada previsto na Lei n.º 12/2014, de 6 de março. *Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Diário da República n.º 138/2014 - Série I*, (114/2014), 3928–3931. Obtido de <https://dre.pt/pesquisa/-/search/55021015/details/maximized>
- Decreto-Lei n.º 152/97. (1997). Transpõe para o direito interno a Directiva n.º 91/271/CEE, do Conselho,

- de 21 de Maio de 1991, relativamente ao tratamento de águas residuais urbanas. *Ministério do Ambiente, Diário da República n.º 139/1997 - Série I-A*, (152/97), 2959–2967. Obtido de https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/365343/details/normal?p_p_auth=J7lyskto
- Decreto-Lei n.º 194/2009. (2009). Estabelece o regime jurídico dos serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos. *Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Diário da República n.º 161/2009 - Série I*, (194/2009), 5418–5435. Obtido de https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/488144/details/maximized?p_p_auth=9w7gnqLI
- Decreto-Lei n.º 236/98. (1998). Estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. *Ministério do Ambiente, Diário da República n.º 176/1998 - Série I-A*, (236/98), 3676–3722. Obtido de <https://dre.pt/pesquisa/-/search/430457/details/maximized>
- Decreto Regulamentar n.º 23/95. (1995). Aprova o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais. *Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Diário da República n.º 194/1995 - Série I-B*, (23/95), 5284–5319. Obtido de <https://dre.pt/pesquisa/-/search/431873/details/maximized>
- Dell'Erba, A., Falsanisi, D., Liberti, L., Notarnicola, M., & Santoro, D. (2007). Disinfection by-products formation during wastewater disinfection with peracetic acid. *Desalination*, 215(1–3), 177–186. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.08.021>
- Despommier, D. (2013). Farming up the city: the rise of urban vertical farms. *Trends in Biotechnology*, 31, 388–389. <https://doi.org/10.1029/2007GB002952>
- Dewettinck, T., Van Houtte, E., Geenens, D., Van Hege, K., & Verstraete, W. (2001). HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) to guarantee safe water reuse and drinking water production - A case study. *Water Science and Technology*, 43(12), 31–38. <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0708>
- Ding, N., Neumann, N. F., Price, L. M., Braithwaite, S. L., Balachandran, A., Belosevic, M., & El-din, M. G. (2014). Science of the Total Environment Ozone inactivation of infectious prions in rendering plant and municipal wastewaters. *Science of the Total Environment*, The, 470–471, 717–725. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.099>
- Ebele, A. J., Abou-Elwafa Abdallah, M., & Harrad, S. (2017). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.12.004>
- El Moussaoui, T., Wahbi, S., Mandi, L., Masi, S., & Ouazzani, N. (2018). Reuse study of sustainable wastewater in agroforestry domain of Marrakesh city. *Journal of the Saudi Society of Agricultural*

Sciences. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.08.004>

EPA. (2000). Water Recycling and Reuse: The Environmental Benefits. *Report*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411645-0.00018-3>

EPA. (2018). Reusing and recycling water. Obtido 2 de Julho de 2018, de <https://www.epa.vic.gov.au/your-environment/water/reusing-and-recycling-water>

EPAL. (2011). Manual de Redes Prediais.

ERSAR. (2007). Recomendação IRAR n.º 02/2007.

ESCAP. (2014). Statistical Yearbook for Asia and the Pacific 2014.

ESCAP, UN-Habitat, & AIT. (2015). *Policy Guidance Manual on Wastewater Management with a special emphasis on decentralized wastewater treatment systems*. Obtido de <http://www.unescap.org/publications>

ESCWA. (2013). *Issues In Sustainable Water Resources Management And Water Services In The Arab Region*.

European Environment Agency. (2018). End-of-pipe technology. Obtido 25 de Novembro de 2018, de <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/gemet-environmental-thesaurus/end-of-pipe-technology>

Faby, J. A., Brissaud, F., & Bontoux, J. (1999). Wastewater reuse in France: Water quality standards and wastewater treatment technologies. *Water Science and Technology*, 40(4–5), 37–42. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00483-7](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00483-7)

Falizi, N. J., Hacifazlıoğlu, M. C., Parlar, İ., Kabay, N., Pek, T., & Yüksel, M. (2018). Evaluation of MBR treated industrial wastewater quality before and after desalination by NF and RO processes for agricultural reuse. *Journal of Water Process Engineering*, 22(October 2017), 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.01.015>

Fang, L., Li, L., Qu, Z., Xu, H., Xu, J., & Yan, N. (2018). A novel method for the sequential removal and separation of multiple heavy metals from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 342, 617–624. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.08.072>

Fang, T. Y., Praveena, S. M., Aris, A. Z., Norkhadajah, S., Ismail, S., & Rasdi, I. (2018). Quantification of selected steroid hormones (17 β -Estradiol and 17 α -Ethinylestradiol) in wastewater treatment plants in Klang Valley (Malaysia). *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.032>

FAO. (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture*. Food and Agriculture Organization of the

- United Nations. Obtido de <http://www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm>
- FAO. (2003). *Users Manual for Irrigation with Treated Wastewater*. Cairo. Obtido de http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRne/morelinks/Publications/English/Usersmanual-en.pdf
- FAO. (2018). Water Scarcity | Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtido 19 de Junho de 2018, de <http://www.fao.org/land-water/water/water-scarcity/en/>
- Farkas, K., Cooper, D. M., McDonald, J. E., Malham, S. K., de Rougemont, A., & Jones, D. L. (2018). Seasonal and spatial dynamics of enteric viruses in wastewater and in riverine and estuarine receiving waters. *Science of the Total Environment*, 634, 1174–1183. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.038>
- Fatta-Kassinos, D., Dionysiou, D. D., & Kümmerer, K. (2016). *Advanced Treatment Technologies for Urban Wastewater Reuse*. Springer. https://doi.org/10.1007/698_2015_359
- FBO Consultores. (2017). Bases de Fundamentação do Processo de Revisão. Em *PDM de Arruda dos Vinhos* (p. 25).
- Gao, Q., Xu, J., & Bu, X. H. (2018). Recent advances about metal–organic frameworks in the removal of pollutants from wastewater. *Coordination Chemistry Reviews*, 378, 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2018.03.015>
- Gavrilescu, M., Demnerová, K., Aamand, J., Agathos, S., & Fava, F. (2015). Emerging pollutants in the environment: Present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. *New Biotechnology*, 32(1), 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2014.01.001>
- Gawlik, B. M., & Alcalde-Sanz, L. (2017). *Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Towards a legal instrument on water reuse at EU level*. Obtido de <https://ec.europa.eu/jrc>
- Ghodke, S. A., Sonawane, S. H., Bhanvase, B. A., & Potoroko, I. (2018). *Advanced Engineered Nanomaterials for the Treatment of Wastewater*. *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00055-9>
- Google Maps. (2018). Arruda dos Vinhos - Google Maps. Obtido 21 de Agosto de 2018, de <https://www.google.com/maps/place/Arruda+dos+Vinhos/@38.8342698,-9.4575953,10z/data=!4m5!3m4!1s0xd18d64673c5cf27:0xd1548c9144625fb6!8m2!3d38.9835516!4d-9.0774591>
- Hamid, H., & Eskicioglu, C. (2012). Fate of estrogenic hormones in wastewater and sludge treatment: A review of properties and analytical detection techniques in sludge matrix. *Water Research*, 46(18), 5813–5833. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.08.002>

- 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.
- Hernández-Padilla, F., Margni, M., Noyola, A., Guereca-Hernandez, L., & Bulle, C. (2017). Assessing wastewater treatment in Latin America and the Caribbean: Enhancing life cycle assessment interpretation by regionalization and impact assessment sensibility. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2140–2153. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.068>
- Hernández-Sancho, F., Lamizana-Diallo, B., Mateo-Sagasta, J., Qadir, M., Hernández-Sancho, F., Lamizana-Diallo, B., ... Qadir, M. (2015). *Economic Valuation of Wastewater the Cost of Action and the Cost of No Action*. Unep. UNEP. <https://doi.org/ISBN: 978-92-807-3474-4>
- Hosseini, S. E., Wahid, M. A., & Aghili, N. (2013). The scenario of greenhouse gases reduction in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28(December 1997), 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.045>
- Houtte, E. Van, Verbauwheide, J., & Driessens, R. (2005). Sustainable groundwater management of a dune aquifer by re-use of wastewater effluent in Flanders , Belgium. *Proceedings 'Dunes and Estuaries 2005' – International Conference on Nature Restoration*, (September), 327–333.
- INE. (2001). Censos 2001, 648.
- INE. (2011). *Censos 2011* (Vol. 60). <https://doi.org/10.13541/j.cnki.chinade.2011.07.013>
- IPQ. NP 4434:2005 - Reutilização de águas residuais urbanas tratadas na rega (2005).
- Jacobsen, M., Webster, M., & Vairavamoorthy, K. (2013). *The Future of Water in African Cities: Why Waste Water? Directions in Development*. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-9721-3>
- Jaramillo, M. F., & Restrepo, I. (2017). Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. *Sustainability (Switzerland)*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/su9101734>
- Jeong, H., Kim, H., & Jang, T. (2016). Irrigation water quality standards for indirect wastewater reuse in agriculture: A contribution toward sustainable wastewater reuse in South Korea. *Water*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/w8040169>
- Jiménez, B. (2008). Water reuse in Latin America and the Caribbean. *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*, (January 2008), 648.
- Jiménez, B., Maya, C., Velásquez, G., Torner, F., Arambula, F., Barrios, J. A., & Velasco, M. (2016). Identification and quantification of pathogenic helminth eggs using a digital image system. *Experimental Parasitology*, 166, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2016.04.016>

- JRC. (2009). *Agricultura sustentável e conservação dos solos*. Obtido de [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/FactSheets/PT Fact Sheet.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/FactSheets/PT_Fact_Sheet.pdf)
- Kalavrouziotis, I. K., Kokkinos, P., Oron, G., Fatone, F., Bolzonella, D., Vatyliotou, M., ... Varnavas, S. P. (2015). Current status in wastewater treatment, reuse and research in some mediterranean countries. *Desalination and Water Treatment*, 53(8), 2015–2030. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.860632>
- Kendirli, B., Çakmak, B., & Gökalp, Z. (2005). Assessment of water quality management in Turkey. *Water International*, 30(4), 446–455. <https://doi.org/10.1080/02508060508691889>
- Khan, S. J., & Anderson, R. (2018). Potable reuse: Experiences in Australia. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.02.002>
- Kim, S., Chu, K. H., Al-Hamadani, Y. A. J., Park, C. M., Jang, M., Kim, D.-H., ... Yoon, Y. (2018). Removal of contaminants of emerging concern by membranes in water and wastewater: A review. *Chemical Engineering Journal*, 335, 896–914. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.11.044>
- Kitis, M. (2004). Disinfection of wastewater with peracetic acid: A review. *Environment International*, 30(1), 47–55. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00147-8](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00147-8)
- Kozovits, A. R., & Bustamante, M. M. C. (2013). *Land use change, air pollution and climate change-vegetation response in latin america*. *Developments in Environmental Science* (1.^a ed., Vol. 139). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098349-3.00019-0>
- Langdon, D. (2007). Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology. Final report to European Commission, (May). Obtido de http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/files/compet/life_cycle_costing/final_report_en.pdf
- Lau, W. J., & Pérez de los Ríos, A. (2018). *Membrane Separation*. *Chemical Engineering and Technology* (Vol. 41). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1002/ceat.201870025>
- Lautze, J., Stander, E., Drechel, P., Silva, A., & Keraita, B. (2014). Global Experiences in Water Reuse. Em L. and E. CGIAR Research Program on Water (Ed.), *International Water Management Institute* (4.^a ed.). Colombo. <https://doi.org/10.5337/2014.209>
- Lazarova, V., Liechti, P.-A., Savoye, P., & Hausler, R. (2013). Ozone disinfection: main parameters for process design in wastewater treatment and reuse. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 3(4), 337. <https://doi.org/10.2166/wrd.2013.007>
- Lee, H., & Tan, T. P. (2016). Singapore's experience with reclaimed water: NEWater. *International Journal of Water resources Development*, 32(4), 611–621. <https://doi.org/10.1080/07900627.2015.1120188>

- Lefebvre, O. (2018). Beyond NEWater: An insight into Singapore's water reuse prospects. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.12.001>
- Lehmann, S. (2018). Implementing the Urban Nexus approach for improved resource-efficiency of developing cities in Southeast-Asia. *City, Culture and Society*, 13(March 2017), 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2017.10.003>
- Lei, Y. J., Tian, Y., Zhang, J., Sun, L., Kong, X. W., Zuo, W., & Kong, L. C. (2018). Microalgae cultivation and nutrients removal from sewage sludge after ozonizing in algal-bacteria system. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 165(May), 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.096>
- Li, W. W., & Yu, H. Q. (2016). Advances in Energy-Producing Anaerobic Biotechnologies for Municipal Wastewater Treatment. *Engineering*, 2(4), 438–446. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.04.017>
- Lisboa E-nova. (2013). Reutilização de águas residuais tratadas em Lisboa – Lisboa E-Nova – Agência de Energia-Ambiente de Lisboa. Obtido 21 de Outubro de 2018, de <http://lisboaenova.org/wp/reutilizacao-de-aguas-residuais-tratadas-em-lisboa/>
- Lisboa E-nova. (2015). Matriz da Agua de Lisboa.
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., ... Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 473–474, 619–641. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>
- Lyu, S., Chen, W., Zhang, W., Fan, Y., & Jiao, W. (2016). Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 39, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.11.012>
- Ma, Y., Elankumaran, S., Marr, L. C., Vejerano, E. P., & Pruden, A. (2014). Toxicity of engineered nanomaterials and their transformation products following wastewater treatment on A549 human lung epithelial cells. *Toxicology Reports*, 1, 871–876. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2014.08.017>
- MAMAOT. (2012). *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. Lisboa. Obtido de http://www.apambiente.pt/_zdata/CONSULTA_PUBLICA/2012/PNUEA/Implementacao-PNUEA_2012-2020_JUNHO.pdf
- MAOT. (2015). *Uma nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais - Volume 1. PENSEAR 2020*. Lisboa. Obtido de https://www.apambiente.pt/_zdata/PoliticAs/Agua/PlaneamentoGestao/PENSEAR2020/PENSEAR2020_Relatorio_Vol1.pdf
- MAOTE. (2017a). *PENSEAR 2020 - Relatório 2*. Obtido de https://www.apambiente.pt/_zdata/PoliticAs/Agua/PlaneamentoGestao/PENSEAR2020/2017_R

- MAOTE. (2017b). *Programa Operacional da Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos*. Obtido de https://poseur.portugal2020.pt/media/40400/programme_2014pt16cfop001_4_0_pt.pdf
- Martin, L. (2014). Texas Leads The Way With First Direct Potable Reuse Facilities In US. Obtido 21 de Outubro de 2018, de <https://www.wateronline.com/doc/texas-leads-the-way-with-first-direct-potable-reuse-facilities-in-u-s-0001>
- Martinho, G. (2016). Nanomateriais nos resíduos urbanos – os novos contaminantes emergentes. Obtido 14 de Novembro de 2018, de <http://www.ambienteonline.pt/canal/detalhe/graca-martinho-residuos-tendencias-nanomateriais-nos-residuos-urbanos->
- Maryam, B., & Büyükgüngör, H. (2017). Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: Opportunities and challenges. *Journal of Water Process Engineering*, (October), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.10.001>
- Matassa, S., Batstone, D. J., Hülsen, T., Schnoor, J., & Verstraete, W. (2015). Can direct conversion of used nitrogen to new feed and protein help feed the world? *Environmental Science and Technology*, 49(9), 5247–5254. <https://doi.org/10.1021/es505432w>
- Maynard, R. L. (2002). *Late lessons from early warnings: the Precautionary Principle 1896-2000: European Environment Agency. Editorial team chaired by Poul Harremoës. Environmental Issue Report No. 22. (Pp 212; free of charge) 2001. ISBN 92 9167 323 4. Catalogue no. TH-39-01-82. Occupational and Environmental Medicine (Vol. 59)*. <https://doi.org/10.1136/oem.59.11.789-a>
- McGivney, W. T., & Kawamura, S. (2008). *Cost Estimating Manual for Water Treatment Facilities*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Mecha, A. C., Onyango, M. S., Ochieng, A., & Momba, M. N. B. (2017). Ultraviolet and solar photocatalytic ozonation of municipal wastewater: Catalyst reuse, energy requirements and toxicity assessment. *Chemosphere*, 186, 669–676. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.041>
- Meschke, J. S., & Sobsey, M. D. (1998). Comparative adsorption of Norwalk virus, poliovirus 1 and F+ RNA coliphage MS2 to soils suspended in treated wastewater. *Water Science and Technology*, 38(12), 187–189. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00823-3](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00823-3)
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery* (Fifth Edit). New York: McGraw-Hill Education.
- Miklos, D. B., Remy, C., Jekel, M., Linden, K. G., & Drewes, J. E. (2018). Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – A critical review. *Water Research*. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.042>

- Mohd Zainudin, F., Abu Hasan, H., & Sheikh Abdullah, S. R. (2018). An overview of the technology used to remove trihalomethane (THM), trihalomethane precursors, and trihalomethane formation potential (THMFP) from water and wastewater. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 57, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.08.022>
- Moreira, F. C., Soler, J., Alpendurada, M. F., Boaventura, R. A. R., Brillas, E., & Vilar, V. J. P. (2016). Tertiary treatment of a municipal wastewater toward pharmaceuticals removal by chemical and electrochemical advanced oxidation processes. *Water Research*, 105, 251–263. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.08.036>
- Muga, H. E., & Mihelcic, J. R. (2008). Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, 88, 437–447. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.008>
- Nam, S. N., & Amy, G. (2008). Differentiation of wastewater effluent organic matter (EfOM) from natural organic matter (NOM) using multiple analytical techniques. *Water Science and Technology*, 57(7), 1009–1015. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.165>
- Nancharaiah, Y. V., Mohan, S. V., & Lens, P. N. L. (2018). *Removal and Recovery of Metals and Nutrients From Wastewater Using Bioelectrochemical Systems*. *Microbial Electrochemical Technology*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-9.00028-5>
- Neczaj, E., & Grosser, A. (2018). Circular Economy in Wastewater Treatment Plant—Challenges and Barriers. *Proceedings*, 2(11), 614. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110614>
- NRC. (2012). *Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater DETAILS*. Washington, D.C.: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13303>
- Nzila, A., Razzak, S. A., & Zhu, J. (2016). Bioaugmentation: An emerging strategy of industrial wastewater treatment for reuse and discharge. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph13090846>
- OCDE. (2016). *Nanomaterials in Waste Streams: Current Knowledge on Risks and Impacts*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264249752-en>
- Oh, K. S., Leong, J. Y. C., Poh, P. E., Chong, M. N., & Lau, E. Von. (2018). A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 171, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.267>
- Ohrdes, H., Ille, I., Twiefel, J., Wallaschek, J., Nogueira, R., & Rosenwinkel, K. H. (2018). A control system for ultrasound devices utilized for inactivating E. coli in wastewater. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40(December 2016), 158–162. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.04.017>
- Oppenheimer, J., Eaton, A., Badruzzaman, M., Haghani, A. W., & Jacangelo, J. G. (2011). Occurrence

- and suitability of sucralose as an indicator compound of wastewater loading to surface waters in urbanized regions. *Water Research*, 45(13), 4019–4027. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.05.014>
- Paranychianakis, N. V., Salgot, M., Snyder, S. A., & Angelakis, A. N. (2015). Water reuse in EU states: Necessity for uniform criteria to mitigate human and environmental risks. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(13), 1409–1468. <https://doi.org/10.1080/10643389.2014.955629>
- Patrícia Cardoso. (2017). Fatores que podem inibir a reprodução dos peixes. Obtido 19 de Novembro de 2018, de <https://noticias.up.pt/ciimar-alerta-para-fatores-que-podem-inibir-a-reproducao-dos-peixes/>
- Petrie, B., McAdam, E. J., Lester, J. N., & Cartmell, E. (2014). Obtaining process mass balances of pharmaceuticals and triclosan to determine their fate during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 497–498, 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.003>
- Piadeh, F., Moghaddam, M. R. A., Mardan, S., Alavi Moghaddam, M. R., & Mardan, S. (2014). Present situation of wastewater treatment in the Iranian industrial estates: Recycle and reuse as a solution for achieving goals of eco-industrial parks. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.06.004>
- Plutzer, J., & Karanis, P. (2016). Neglected waterborne parasitic protozoa and their detection in water. *Water Research*, 101, 318–332. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.05.085>
- PORDATA. (2018a). Empresas não financeiras: total e por sector de actividade económica. Obtido 17 de Agosto de 2018, de <https://www.pordata.pt/Municipios/Empresas+não+financeiras+total+e+por+sector+de+actividad+e+económica-346>
- PORDATA. (2018b). População residente. Obtido 17 de Agosto de 2018, de <https://www.pordata.pt/Municipios/População+residente-359>
- Portal do Relatório de Estado do Ambiente Portugal. (2018). Disponibilidades de águas superficiais e subterrâneas | Relatório do Estado do Ambiente. Obtido 21 de Junho de 2018, de <https://rea.apambiente.pt/content/disponibilidades-de-águas-superficiais-e-subterrâneas>
- Prouty, C., Mohebbi, S., & Zhang, Q. (2018). Socio-technical strategies and behavior change to increase the adoption and sustainability of wastewater resource recovery systems. *Water Research*, 137, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.009>
- Racar, M., Dolar, D., Špehar, A., & Košutić, K. (2017). Application of UF/NF/RO membranes for treatment and reuse of rendering plant wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*,

105, 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.11.015>

Rashidi, H., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Meriam, N., Sulaiman, N., Tookey, J., & Hashim, A. (2015). Application of wastewater treatment in sustainable design of green built environments: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *49*, 845–856. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.104>

Reidy, R. (2014). Biwater to supply reuse technology for Californian water project. *Pump Industry Analyst*, *2014*(10), 3. [https://doi.org/10.1016/S1359-6128\(14\)70393-3](https://doi.org/10.1016/S1359-6128(14)70393-3)

Reidy, R. (2018). IDE Technologies opens California wastewater reuse demo facilities. *Filtration Industry Analyst*. [https://doi.org/10.1016/S1365-6937\(18\)30113-8](https://doi.org/10.1016/S1365-6937(18)30113-8)

Reungoat, J., Escher, B. I., Macova, M., Argaud, F. X., Gernjak, W., & Keller, J. (2012). Ozonation and biological activated carbon filtration of wastewater treatment plant effluents. *Water Research*, *46*, 863–872. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.064>

Reznik, A., Feinerman, E., Finkelshtain, I., Fisher, F., Huber-Lee, A., Joyce, B., & Kan, I. (2017). Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: A statewide long-term perspective. *Ecological Economics*, *135*, 222–233. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.01.013>

RGSPDADAR. (1995). Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais. *Diário da República 1ª série de 23 de Agosto*, 112.

Richards, S., Paterson, E., Withers, P. J. A., & Stutter, M. (2015). Corrigendum to “The contribution of household chemicals to environmental discharges via effluents: Combining chemical and behavioural data. *Journal of Environmental Management*, *150*, 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.023>

Rizzo, L. (2011). Bioassays as a tool for evaluating advanced oxidation processes in water and wastewater treatment. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.05.035>

Rizzo, L., Fiorentino, A., & Anselmo, A. (2013). Advanced treatment of urban wastewater by UV radiation: Effect on antibiotics and antibiotic-resistant *E. coli* strains. *Chemosphere*, *92*, 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.03.021>

Roccaro, P. (2018). Treatment processes for municipal wastewater reclamation: The challenges of emerging contaminants and direct potable reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *2*, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.02.003>

Roccaro, P., Sgroi, M., & Vagliasindi, F. G. A. (2013). Removal of xenobiotic compounds from wastewater for environment protection: Treatment processes and costs. *Chemical Engineering Transactions*, *32*, 505–510. <https://doi.org/10.3303/CET1332085>

- Roccaro, P., & Verlicchi, P. (2018). Wastewater and reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 61–63. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.008>
- Rosado-García, F. M., Guerrero-Flórez, M., Karanis, G., Hinojosa, M. D. C., & Karanis, P. (2017). Water-borne protozoa parasites: The Latin American perspective. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(5), 783–798. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.03.008>
- Ross, V. L., Fielding, K. S., & Louis, W. R. (2014). Social trust, risk perceptions and public acceptance of recycled water: Testing a social-psychological model. *Journal of Environmental Management*, 137, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.039>
- Ruiz-Rosa, I., García-Rodríguez, F. J., & Mendoza-Jiménez, J. (2016). Development and application of a cost management model for wastewater treatment and reuse processes. *Journal of Cleaner Production*, 113, 299–310. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.044>
- Salehi, F. (2014). Current and future applications for nanofiltration technology in the food processing. *Food and Bioproducts Processing*, 92(2), 161–177. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.09.005>
- Salgot, M. (2008). Water reclamation, recycling and reuse: implementation issues. *Desalination*, 218(1–3), 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.09.035>
- Salgot, M., & Folch, M. (2018). Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005>
- Salgot, M., Huertas, E., Weber, S., Dott, W., & Hollender, J. (2006). Wastewater reuse and risk: Definition of key objectives. *Desalination*, 187(1–3), 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.065>
- Santos, F. M., & Pires, J. C. M. (2018). Nutrient recovery from wastewaters by microalgae and its potential application as bio-char. *Bioresource Technology*, 267, 725–731. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.119>
- 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. Obtido de <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/124/7/ehp.1509995.alt.pdf>
- Sgroi, M., Vagliasindi, F. G. A. A., & Roccaro, P. (2018). Feasibility, sustainability and circular economy concepts in water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.004>
- Sgroi, M., Vagliasindi, F. G. A., Snyder, S. A., & Roccaro, P. (2018). N-Nitrosodimethylamine (NDMA) and its precursors in water and wastewater: A review on formation and removal. *Chemosphere*, 191, 685–703. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.089>

- Shahanas, M., & Sivakumar, B. (2016). Framework for a smart water management system in the context of smart city initiatives in India. *Procedia - Procedia Computer Science*, 92, 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.337>
- Shakir, E., Zahraw, Z., & Al-Obaidy, A. H. M. J. (2017). Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26(1), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.01.003>
- Sibson, R. (2015). Jordan: UNHCR Operational Update July 2015, (March), 1–9.
- Sidhu, J. P. S., Sena, K., Hodggers, L., Palmer, A., & Toze, S. (2018). Comparative enteric viruses and coliphage removal during wastewater treatment processes in a sub-tropical environment. *Science of the Total Environment*, 616–617, 669–677. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.265>
- Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 38, 697–713. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.053>
- Smith, H. M., Brouwer, S., Jeffrey, P., & Frijns, J. (2018). Public responses to water reuse e Understanding the evidence. *Journal of Environmental Management*, 207, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.021>
- Sui, Q., Cao, X., Lu, S., Zhao, W., Qiu, Z., & Yu, G. (2015). Occurrence, sources and fate of pharmaceuticals and personal care products in the groundwater: A review. *Emerging Contaminants*, 1(1), 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2015.07.001>
- Sun, D., Gao, Y., Hou, D., Zuo, K., Chen, X., Liang, P., ... Huang, X. (2018). Energy-neutral sustainable nutrient recovery incorporated with the wastewater purification process in an enlarged microbial nutrient recovery cell. *Journal of Power Sources*, 384(January), 160–164. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.02.049>
- Sun, Y., Chen, Z., Wu, G., Wu, Q., Zhang, F., Niu, Z., & Hu, H.-Y. (2016). Characteristics of water quality of municipal wastewater treatment plants in China: implications for resources utilization and management. *Journal of Cleaner Production*, 131, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.068>
- Theregowda, R. B., Vidic, R., Landis, A. E., Dzombak, D. A., & Matthews, H. S. (2016). Integrating external costs with life cycle costs of emissions from tertiary treatment of municipal wastewater for reuse in cooling systems. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4733–4740. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.020>
- Tiwari, B., Sellamuthu, B., Ouarda, Y., Drogui, P., Tyagi, R. D., & Buelna, G. (2017). Review on fate and mechanism of removal of pharmaceutical pollutants from wastewater using biological approach.

Bioresource Technology, 224, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.042>

Townshend, D. (2007). Study on green roof application in Hong Kong, 10.

Toze, S. (2006). Water reuse and health risks - Real vs. perceived. *Desalination*, 187(1–3), 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.066>

Tran, Q. K., Jassby, D., & Schwabe, K. A. (2017). The implications of drought and water conservation on the reuse of municipal wastewater: Recognizing impacts and identifying mitigation possibilities. *Water Research*, 124, 472–481. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2017.07.069>

Trinh, L. T., Duong, C. C., Van Der Steen, P., & Lens, P. N. L. (2013). Exploring the potential for wastewater reuse in agriculture as a climate change adaptation measure for Can Tho City, Vietnam. *Agricultural Water Management*, 128, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.06.003>

UN-Water. (2017). New Decade for Water. Obtido 12 de Julho de 2018, de <http://www.unwater.org/new-decade-water/>

UN-Water. (2018). Quality and Wastewater | UN-Water. Obtido 26 de Outubro de 2018, de <http://www.unwater.org/water-facts/quality-and-wastewater/>

UN-WATER. (2018, Julho). Water Scarcity. Obtido 27 de Junho de 2018, de <http://www.unwater.org/water-facts/scarcity/>

UN Chronicle. (2018). Water for Sustainable Development. Obtido 10 de Julho de 2018, de <https://unchronicle.un.org/article/water-sustainable-development>

UN Environment. (2015). Wastewater, Sewage and Sanitation — Caribbean Environment Programme. Obtido 22 de Outubro de 2018, de <http://www.cep.unep.org/publications-and-resources/marine-and-coastal-issues-links/wastewater-sewage-and-sanitation>

United Nations Global Water Report. (2017). *THE UNTAPPED RESOURCE*. Obtido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002471/247153e.pdf>

USEPA. (2000). *Lindane (Gamma-Hexachlorocyclohexane)*. Obtido de <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/lindane.pdf>

USEPA. (2002). *Federal water pollution control act*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133370>

USEPA. (2012). *Guidelines for Water Reuse 2012*.

USEPA. (2018). Summary of the Clean Water Act. Obtido 15 de Novembro de 2018, de <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>

- Van Der Hoek, J. P., De Fooij, H., & Struker, A. (2016). Wastewater as a resource: Strategies to recover resources from Amsterdam's wastewater. *Resources, Conservation and Recycling*, 113, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.05.012>
- Van Houtte, E., & Verbauwhede, J. (2008). Operational experience with indirect potable reuse at the Flemish Coast. *Desalination*, 218(1–3), 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.08.028>
- Vergine, P., Salerno, C., Libutti, A., Beneduce, L., Gatta, G., Berardi, G., & Pollice, A. (2017). Closing the water cycle in the agro-industrial sector by reusing treated wastewater for irrigation. *Journal of Cleaner Production*, 164, 587–596. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.239>
- Verlicchi, P. (2018). *Hospital Wastewaters: characteristics, management, treatment and environmental risks* (Vol. 60). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62178-4>
- Vojtěchovská Šrámková, M., Diaz-Sosa, V., & Wanner, J. (2018). Experimental verification of tertiary treatment process in achieving effluent quality required by wastewater reuse standards. *Journal of Water Process Engineering*, 22(February), 41–45. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.01.003>
- Voulvoulis, N. (2018). Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>
- Wang, H., Wang, T., Zhang, B., Li, F., Toure, B., Omosa, I. B., ... Pradhan, M. (2014). Water and Wastewater Treatment in Africa - Current Practices and Challenges. *Clean - Soil, Air, Water*, 42(8), 1029–1035. <https://doi.org/10.1002/clen.201300208>
- 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>
- Ward, A. J., Arola, K., Thompson Brewster, E., Mehta, C. M., & Batstone, D. J. (2018). Nutrient recovery from wastewater through pilot scale electro dialysis. *Water Research*, 135, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.02.021>
- WHO. (2006). Wastewater use in Agriculture. *Guidelines For the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*, 2, 191.
- WHO. (2016). *Planeamento Da Segurança Do Saneamento*.
- Wielemaker, R. C., Weijma, J., & Zeeman, G. (2018). Harvest to harvest: Recovering nutrients with New Sanitation systems for reuse in Urban Agriculture. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 426–437. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.015>
- Wilcox, J., Nasiri, F., Bell, S., & Rahaman, M. S. (2016). Urban water reuse: A triple bottom line assessment framework and review. *Sustainable Cities and Society*, 27, 448–456.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.06.021>

- Willemssen, J. (2010). *Smart Disinfection Solutions*. Obtido de http://www.unicef.org/eapro/WSP_UNICEF_FN_CWP_Final.pdf
- Winpenny, J., Heinz, I., & Koo-Oshima, S. (2010). The wealth of waste - the economics of wastewater use in agriculture. Em *FAO Water Reports*. Roma. Obtido de <http://www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm>
- World Economic Forum. (2017). How do we prevent today's water crisis becoming tomorrow's catastrophe? | World Economic Forum. Obtido 19 de Junho de 2018, de <https://www.weforum.org/agenda/2017/03/building-freshwater-resilience-to-anticipate-and-address-water-crises/>
- World Economic Forum. (2018). We can turn our wastewater into a valuable resource | World Economic Forum. Obtido 19 de Junho de 2018, de <https://www.weforum.org/agenda/2018/04/wastewater-treatment-a-critical-component-of-a-circular-economy>
- World Water Council. (2018). Comece pela Água (p. 100). Obtido de <http://www.worldwaterforum8.org/pt-br/node/943/>
- Xu, P., Valette, F., Brissaud, F., Fazio, A., & Lazarova, V. (2001). Technical-economic modelling of integrated water management: Wastewater reuse in a French island. *Water Science and Technology*, 43(10), 67–74. <https://doi.org/10.1007/s00063-005-1050-0>
- Yaya-Beas, R. E., Cadillo-La-Torre, E. A., Kujawa-Roeleveld, K., Van Lier, J. B., & Zeeman, G. (2016). Presence of helminth eggs in domestic wastewater and its removal at low temperature UASB reactors in Peruvian highlands. *Water Research*, 90, 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.023>
- Ye, C., Zhou, Z., Li, M., Liu, Q., Xu, T., & Li, J. (2018). Evaluation of simultaneous organic matters and nutrients removal from municipal wastewater using a novel bioreactor (D-A 2 O) system. *Journal of Environmental Management*, 218, 509–515. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.075>
- Yerri, S., & Piratla, K. R. (2018). Decentralized water reuse planning: Evaluation of life cycle costs and benefits. *Resources, Conservation and Recycling*, 141(December 2017), 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.016>
- Zaidi, M. K. (2007). *Wastewater Reuse –Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security*. NATO Science for Peace and Security Series (Vol. 8). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6027-4_30
- Znad, H., Al Ketife, A. M. D., Judd, S., AIMomani, F., & Vuthaluru, H. B. (2018). Bioremediation and nutrient removal from wastewater by *Chlorella vulgaris*. *Ecological Engineering*, 110(September

2016), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.10.008>

9. ANEXOS

9.1. Anexo A

Tabela 9.1 Objetivos Operacionais do PENSAAR 2020

Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5
<p>Proteção do ambiente e melhoria da qualidade das massas de água</p>	<p>Melhoria da qualidade dos serviços prestados</p>	<p>Otimização e gestão eficiente dos recursos</p>	<p>Sustentabilidade económica, financeira e social</p>	<p>Condições básicas e transversais</p>
<p>OP 1.1 Cumprimento do normativo</p> <p>OP 1.2 Redução da poluição das massas de água</p> <p>OP 1.3 Aumento da acessibilidade física ao serviço de saneamento de águas residuais</p>	<p>OP 2.1 Melhoria da qualidade do serviço de abastecimento de água</p> <p>OP 2.2 Melhoria da qualidade do serviço de saneamento de águas residuais</p>	<p>OP 3.1 Otimização da utilização da capacidade instalada e aumento da adesão ao serviço</p> <p>OP 3.2 Redução de perdas de água</p> <p>OP 3.3 Controlo de afluições indevidas</p> <p>OP 3.4 Gestão eficiente de ativos e aumento da sua reabilitação</p> <p>OP 3.5 Valorização de recursos e subprodutos</p> <p>OP 3.6 Alocação e uso eficiente dos recursos hídricos</p>	<p>OP 4.1 Recuperação sustentável dos gastos</p> <p>OP 4.2 Otimização e/ou redução dos gastos operacionais</p> <p>OP 4.3 Redução da água não faturada</p>	<p>OP 5.1 Aumento da disponibilidade de informação</p> <p>OP 5.2 Inovação</p> <p>OP 5.3 Melhoria do quadro operacional, de gestão e prestação de serviços</p> <p>OP 5.4 Alterações climáticas, desastres naturais, riscos-mitigação e adaptação</p> <p>OP 5.5 Externalidades: emprego, competitividade, internacionalização</p>

9.2. Anexo B

Tabela 9.2 - Constituintes residuais tipicamente presentes no efluente secundário (Metcalf & Eddy, 2014)

Constituintes Residuais		Possíveis Efeitos/ Tratamento adicional
Matéria Suspensa Orgânica e Inorgânica e Matéria Coloidal Particulada	Sólidos Suspensos	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos na desinfecção • Depósitos de lama ou interfere com a afluência da água clarificada • Turbidez do efluente
	Matéria Coloidal	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidez do efluente
	Matéria Orgânica	<ul style="list-style-type: none"> • Protege as bactérias durante a desinfecção e consome oxigênio
Matéria orgânica dissolvida	Carbono Orgânico Total	<ul style="list-style-type: none"> • Consome oxigênio
	Orgânicos refratários	<ul style="list-style-type: none"> • Tóxico para os humanos; carcinogénico
	Compostos orgânicos voláteis	<ul style="list-style-type: none"> • Tóxico para os humanos; carcinogénico; gera oxidantes fotoquímicos
	Compostos farmacêuticos	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos nas espécies aquáticas (e.g. disrupção endócrina)
	Surfactantes	<ul style="list-style-type: none"> • Produção de espuma e interferência com a coagulação
Matéria inorgânica dissolvida	Amónia	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta as necessidades de cloro; • Converte-se para nitratos e consome oxigênio nesse processo • Tóxico para os peixes
	Nitrato	<ul style="list-style-type: none"> • Estimula o crescimento de algas e outras espécies aquáticas • Causa metahemoglobinemia em crianças
	Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> • Estimula o crescimento de algas e outras espécies aquáticas • Interfere no amaciamento com cal sódica
	Cálcio e Magnésio	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta a dureza e os sólidos totais dissolvidos
	Cloreto e sulfato	<ul style="list-style-type: none"> • Transfere sabor salgado
	Sólidos dissolvidos totais	<ul style="list-style-type: none"> • Interfere com os processos agrícolas e industriais
Matéria Biológica	Bactérias	<ul style="list-style-type: none"> • Causam doença
	Cistos e Oocistos de protozoários	<ul style="list-style-type: none"> • Causam doença
	Vírus	<ul style="list-style-type: none"> • Causam doença

9.3. Anexo C

Tabela 9.3 - Remoção dos principais constituintes da água residual tratada por diversas tecnologias de tratamento (Asano et al., 2007)

Processo ou operação unitário	Sólidos suspensos	Coloidais	Matéria Orgânica particulada	Matéria orgânica dissolvida	Azoto	Fósforo	Constituintes	SST	Bactérias	Cistos de protozoários e oocistos	Vírus
Tratamento secundário	x			x							
Tratamento secundário com remoção de nutrientes				x	x	x					
Filtração em profundidade	x								x	x	
Filtração superficial	x		x						x	x	
Microfiltração	x	x	x						x	x	
Ultrafiltração	x	x	x						x	x	x
Flotação por ar dissolvido	x	x	x							x	x
Nanofiltração			x	x			x	x	x	x	x
Osmose inversa				x	x	x	x	x	x	x	x
Eletrodialise								x			
Adsorção de carvão ativado		x		x			x				
Permuta iônica					x		x	x			
Oxidação avançada			x	x			x		x	x	x
Desinfecção				x					x	x	x

9.4. Anexo D

Inquérito aos potenciais utilizadores de água presentes no tecido industrial

Identificação do Responsável pela Resposta do Inquérito

Nome:
Correio eletrónico:
Telefone:
Função:

Caracterização da Unidade ou Organização

Designação:
Unidade:
CAE principal:

1. Origem de água para consumo:
 - Furo
 - Captação do Rio
 - Água da Rede Pública
 - Outra: _____
2. Consumo de água médio mensal (m³): _____
3. Custo do consumo de água médio mensal (€): _____

Conhecimentos Gerais da Temática

4. Sabe o que é água residual tratada?
 - Sim
 - Não
 - Já ouvi falar
5. Tem conhecimento destes possíveis usos para a reutilização de águas residuais tratadas?
 - Rega de espaços verdes
 - Uso agrícola
 - Uso industrial
 - Uso doméstico
 - Consumo humano
 - Lavagem de veículos
 - Lavagem de estradas

- Combate a incêndios
- Recarga de aquíferos
- Outra: _____

6. Selecione, em sua opinião, quais as **maiores vantagens** da reutilização de água?

- Poupança de água potável
- Saúde Pública
- Ganhos ambientais
- Ganhos económicos
- Imagem/ certificação
- Outra: _____

7. Selecione, em sua opinião, quais os **maiores obstáculos** à reutilização de água?

- Saúde Pública
- Segurança
- Investimentos em transporte e/ou armazenamento de água residual tratada
- Falta de informação acerca da temática
- Outra: _____

Aceitação Pública do Uso de Água Residual Tratada

8. Opõe-se à reutilização de água?

- Sim
- Não

9. Aceitaria utilizar água residual tratada?

- Sim
- Não

10. Qual o **aspecto mais relevante/crítico** na utilização de água residual tratada?

- Saúde Pública
- Segurança
- Monitorização/Controlo e acesso à Informação dos resultados dos mesmos
- Água mais barata
- Outra: _____

Aplicabilidade da Água Residual Tratada no Setor

11. Para que **usos** considera aceitável utilizar água residual tratada no âmbito da empresa/organização

- Rega de espaços verdes
- Uso agrícola
- Uso industrial
- Uso doméstico
- Consumo humano
- Lavagem de veículos
- Lavagem de estradas
- Combate a incêndios

- Recarga de aquíferos
- Outra: _____

12. Concorda utilizar um referencial de qualidade baseado nas **diretrizes adotadas/recomendadas pela Organização Mundial de Saúde** ou, ainda, pela Agência Europeia do Ambiente?

- Sim
- Não

13. Que **referencial de qualidade suplementar** exigiria para que fosse possível utilizar águas residuais tratadas?

- CBO₅: _____
- SST: _____
- CQO: _____
- N total: _____
- P total: _____
- Outros parâmetros: _____
- Não sei

14. Que **constrangimentos** lhe parecem críticos para a implementação do uso das águas residuais tratadas na sua empresa/organização?

- Sensibilização/formação desta temática junto dos operadores/trabalhadores
- Custos de transporte até ao local de utilização
- Custos de infraestruturas para armazenamento de água residual tratada
- Outros: _____

15. Que **vantagens competitivas** lhe parecem críticas para a implementação do uso das águas residuais tratadas na sua empresa/organização?

- Notoriedade e Imagem
- Inovação e Desenvolvimento
- Fixação de emprego jovem
- Certificação ambiental
- Outros: _____

16. Aceitaria usar água residual tratada como **alternativa** a água de abastecimento, se:

16.1 O **preço** da água residual tratada for **zero** (excluindo custo de transporte)?

- Sim
- Não

16.2 O **preço** da água residual tratada for **inferior** ao da água de abastecimento?

- Sim
- Não

16.3 O **preço** da água residual tratada for **igual** ao da água de abastecimento?

- Sim
- Não

16.4 O **preço** da água residual tratada for **superior** ao da água de abastecimento?

- Sim
- Não

9.5. Anexo E

Tabela 9.4 - Informação relativa aos diâmetros nominais dos troços do sistema de distribuição

DN (mm)		Custos (€/m)				Espessuras (mm)			
PEAD	FFD	PN6	PN10	PN16	FFD	D(mm)	PN6	PN10	PN16
63	60	12	12	13	34	63	2,3	3,8	5,8
75	80	12	13	15	37	75	2,7	4,5	6,8
90	100	14	15	18	42	90	3,3	5,4	8,2
110	125	16	18	21	50	110	4	6,6	10
125	150	17	20	26	62	125	4,5	7,4	11,4
140	200	19	22	30	76	140	5,1	8,3	12,7
160	250	22	26	36	99	160	5,8	9,5	14,6
180	300	24	30	43	119	180	7,5	10,7	16,4
200	350	28	35	51	145	200	7,2	11,9	18,2
225	400	33	42	65	164	225	8,1	13,4	20,5
250	450	38	49	77	193	250	9	14,8	22,7
280	500	44	58	94	223	280	10,1	16,6	25,4
315	600	53	71	115	292	315	11,4	18,7	28,6
355		63	87	143		355	12,8	21,1	32,2
400		77	106	178		400	14,5	23,7	36,3
450		99	138	221		450	16,3	26,7	40,9
500		121	169	273		500	18,1	29,7	45,4
560		147	208	338		560	20,2	33,2	50,8
630		181	259	424		630	21,7	35,6	54,5

Informação relativa ao estudo técnico-económico do sistema de distribuição:

- Estimativa de custos com a instalação de estações elevatórias:

$$\text{Custo construção civil (€)} = 42\,000 + 350\,1 * Q * H$$

$$\text{Custo equipamentos (€)} = 2\,400 * Q^{0,80} * H^{0,20} + 2\,092 * (Q * H)^{0,52}$$

com Q = caudal de dimensionamento (L/s) e H = altura de elevação (m).

- Estimativa de custos com a **instalação de reservatórios**, câmaras de transição e câmaras de perda de carga, construção civil e equipamentos:

$$\text{Custo (€)} = 6\,500 + 1\,200 * V^{0,75}, \quad \text{para } V < 100 \text{ m}^3$$

com V = volume de adução (m³).

- Segundo o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais: independentemente das condições de alimentação do reservatório, a capacidade de armazenamento do sistema deve ser:

$$V \geq K * Qmd$$

onde Q é o caudal médio diário anual (metros cúbicos) do aglomerado e K um coeficiente que toma os seguintes valores mínimos: **K = 1,5** para aglomerados populacionais compreendidos entre 1000 e 10 000 habitantes;

- No estudo técnico-económico, considerou-se, também, os seguintes pontos:
 - Energia = 0,15 €/kWh
 - Taxa de instalação = 1%
 - Taxa de operação = 0,5%
 - Taxa de atualização = 2%

Tabela 9.5 - Resultados do estudo técnico-económico do sistema de distribuição

Ano	m ³	kWh	Custo (€)							
	Volume	Energia	Energia	Instalação Bombas	Construção civil	O&M	Tubagens	R1+R2	Total	Atualizado
0	86870	6 216	932	81 431	47 821	5	36 900	51 500	218 589	218 589
1	86870	6 216	932			5			937	919
2	86870	6 216	932			5			937	901
3	86870	6 216	932			5			937	883
4	86870	6 216	932			5			937	866
5	86870	6 216	932			5			937	849
6	86870	6 216	932			5			937	832
7	86870	6 216	932			5			937	816
8	86870	6 216	932			5			937	800
9	86870	6 216	932			5			937	784
10	86870	6 216	932			5			937	769
11	86870	6 216	932			5			937	754
12	86870	6 216	932			5			937	739
13	86870	6 216	932			5			937	724
14	86870	6 216	932			5			937	710
15	86870	6 216	932			5			937	696
16	86870	6 216	932			5			937	683
17	86870	6 216	932			5			937	669
18	86870	6 216	932			5			937	656
19	86870	6 216	932			5			937	643
20	86870	6 216	932			5			937	631
Total	1 824 270	130 546	19 582	81 431	47 821	98	36 900	51 500	237 331	233 912

De notar que:

O&M – operação e manutenção

R1 + R2 – reservatórios instalados na própria ETAR e no Parque das Rotas.

9.6. Anexo F

Disposições construtivas da **filtração rápida em areia**:

Tabela 9.6 – Disposições construtivas da filtração rápida em areia

Parâmetros	Unidades	Valores
Carga hidráulica	m ³ /m ² .h	5,0
Área de filtração	m ²	1,2
Número de filtros	-	2
Área unitária	m ²	1,7
Largura	m	1,3
Comprimento	m	1,3
Volume total/lavagem	m ³	5,0
Volume total/dia	m ³	10,1
Água consumida na lavagem de filtros	%	7,2
Volume de água de lavagem reenviado para a obra de entrada 2ª Fase + (1/2) da 3ª Fase	m ³	2,9
Caudal de lavagem reenviado para a obra de entrada	m ³ /dia	5,8
Volume de água lavagem para a desinfecção (1/2) da 3ª Fase	m ³	2,1
Caudal de lavagem para a desinfecção	m ³ /dia	4,3
Caudal de ar lavagem	m ³ /h	85,7
2ª Fase – Caudal bomba de lavagem	m ³ /h	12,0
3ª Fase – Caudal bomba de lavagem	m ³ /h	25,7

Tabela 9.7 – Dados relativos à lavagem do meio filtrante

Lavagem	Velocidade (m ³ /m ² .h)	Tempo de lavagem (min)	Volume de água (m ³)
1ª Fase – Com ar	50	5	0
2ª Fase – Com ar e água	7	5	0,8
3ª Fase – Com água	15	10	4,3

Disposições construtivas da **microfiltração**:

Tabela 9.8 - Disposições construtivas da microfiltração

Parâmetros	Unidades	Valores
Configuração: <i>Hollow Fiber – ZeeWeed</i> -> modelo ZW700B-10060 *		
Poros	mm	2,2
Temperatura máxima	°C	40
Intervalo de pH durante a operação	-	2 a 11
Fluxo de operação	L/m ² .h	250
Área total do módulo membrana	m ²	25
Área membrana	m ²	28
Número de membranas	-	2
Pressão transmembrana típica de operação	kPa	100
Caudal permeado	m ³ /h	5,8
Volume permeado por ano	m ³	51 100
Volume a reutilizar por ano	m ³	51 100
Taxa de recuperação	%	100

*Suez Environnement

Disposições construtivas da **ultrafiltração**:

Tabela 9.9 - Disposições construtivas da ultrafiltração

Parâmetros	Unidades	Valores
Configuração: <i>Hollow Fiber – ZeeWeed</i> -> modelo ZW1000*		
Poros	mm	0,02
Temperatura máxima	°C	40
Intervalo de pH durante a operação	-	2 a 12
Fluxo de operação	m ³ /dia	110
Área membrana	m ²	41,8
Número de membranas	-	2
Pressão transmembrana típica de operação	kPa	100
Caudal permeado	m ³ /h	4,6
Volume permeado por ano	m ³	40 150
Volume a reutilizar por ano	m ³	51 100
Taxa de recuperação	%	79

* Suez Environnement

Disposições construtivas da **desinfecção com radiação ultravioleta:**

Tabela 9.10 - Disposições construtivas da desinfecção com radiação ultravioleta

Parâmetros	Unidades	Valores
Caudal máxima afluência	L/min	95,3
Dose necessária	mJ/cm ² = mW.s/cm ²	50,0
Tempo de exposição	s	30
Intensidade	mW/cm ²	1,7
Potencia nominal	L/min.lâmpada	80
Nº lâmpadas	-	2
Nº canais	-	1,0
Nº barras	-	2,0
Lâmpadas por barra	-	1,0

Disposições construtivas da **desinfecção preconizada via câmara de contacto de ozono:**

Tabela 9.11 - Disposições construtivas da desinfecção com ozono

Parâmetros	Unidades	Valores
Tempo de retenção hidráulico	min	27
Altura da lâmina líquida	m	4
Volume do reator	m ³	2,6
Volume do compartimento 1 → 2/3	m ³	1,7
Volume compartimento 2 → 1/3	m ³	0,9
Área do compartimento 1	m ²	0,4
Área do compartimento 2	m ²	0,2
Lado compartimento 1	m	0,7
Lado compartimento 2	m	0,5
Área do mono compartimento	m ²	0,6
Lado mono compartimento	m	0,8

Disposições construtivas da **desinfeção via cloro na forma de hipoclorito de sódio**:

Tabela 9.12 - Disposições construtivas da desinfeção com hipoclorito de sódio

Parâmetro	Unidade	Valores
Caudal máximo afluyente	L/s	21
Tempo de retenção hidráulico	min	20
Tempo de retenção hidráulico	h	0,3
Volume do tanque de contacto	m ³	7
Altura da lâmina líquida	m	1,5
Largura entre paredes	m	1
Comprimento	m	5

9.7. Anexo G

Estudo técnico económico do cenário C0.1:

Tabela 9.13 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.1 – custo mínimo

Filtração rápida – Custo Mínimo							
Ano	Caudal (m ³ /dia)	Volume Anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	218 532	0	0	-218 532
1	2020	140	51 100		1 057	495,67	-561
2	2021	140	51 100		1 057	495,67	-561
3	2022	140	51 100		1 057	495,67	-561
4	2023	140	51 100		1 057	495,67	-561
5	2024	140	51 100		1 057	495,67	-561
6	2025	140	51 100		1 057	495,67	-561
7	2026	140	51 100		1 057	495,67	-561
8	2027	140	51 100		1 057	495,67	-561
9	2028	140	51 100		1 057	495,67	-561
10	2029	140	51 100		1 057	495,67	-561
11	2030	140	51 100		1 057	495,67	-561
12	2031	140	51 100		1 057	495,67	-561
13	2032	140	51 100		1 057	495,67	-561
14	2033	140	51 100		1 057	495,67	-561
15	2034	140	51 100		1 057	495,67	-561
16	2035	140	51 100		1 057	495,67	-561
17	2036	140	51 100		1 057	495,67	-561
18	2037	140	51 100		1 057	495,67	-561
19	2038	140	51 100		1 057	495,67	-561
20	2039	140	51 100		1 057	495,67	-561
Somatório		2 940	1 073 100	218 532	21 135	9 913	- 227 707

Tabela 9.14 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C0.1 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2725	2 %

Tabela 9.15 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.1 – custo máximo

Filtração Rápida – Custo máximo							
Ano		Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	220 650	0	0	-220 650
1	2020	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
2	2021	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
3	2022	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
4	2023	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
5	2024	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
6	2025	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
7	2026	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
8	2027	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
9	2028	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
10	2029	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
11	2030	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
12	2031	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
13	2032	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
14	2033	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
15	2034	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
16	2035	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
17	2036	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
18	2037	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
19	2038	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
20	2039	140	51 100	0	1 105	495,67	-609
Somatório		2 940	1 073 100	220 650	22 091	9 913	-230 606

Tabela 9.16 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C0.1 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2760	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C0.2**:

Tabela 9.17 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.2 – custo mínimo

Microfiltração – Custo Mínimo							
Ano	Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	218 527 €	0	0	-218 527
1	2020	140	51 100		1 056	495,67	-560
2	2021	140	51 100		1 056	495,67	-560
3	2022	140	51 100		1 056	495,67	-560
4	2023	140	51 100		1 056	495,67	-560
5	2024	140	51 100		1 056	495,67	-560
6	2025	140	51 100		1 056	495,67	-560
7	2026	140	51 100		1 056	495,67	-560
8	2027	140	51 100		1 056	495,67	-560
9	2028	140	51 100		1 056	495,67	-560
10	2029	140	51 100		1 056	495,67	-560
11	2030	140	51 100		1 056	495,67	-560
12	2031	140	51 100		1 056	495,67	-560
13	2032	140	51 100		1 056	495,67	-560
14	2033	140	51 100		1 056	495,67	-560
15	2034	140	51 100		1 056	495,67	-560
16	2035	140	51 100		1 056	495,67	-560
17	2036	140	51 100		1 056	495,67	-560
18	2037	140	51 100		1 056	495,67	-560
19	2038	140	51 100		1 056	495,67	-560
20	2039	140	51 100		1 056	495,67	-560
Somatório		2 940	1 073 100	218 527	21 111	9913	-227 682

Tabela 9.18 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C0.2 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2725	2 %

Tabela 9.19 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.2 – custo máximo

Microfiltração – Custo Máximo							
Ano	Caudal (m ³ /dia)	Volume anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	218 840	0	0	-218 840
1	2020	140	51 100		1 063	495,67	-567
2	2021	140	51 100		1 063	495,67	-567
3	2022	140	51 100		1 063	495,67	-567
4	2023	140	51 100		1 063	495,67	-567
5	2024	140	51 100		1 063	495,67	-567
6	2025	140	51 100		1 063	495,67	-567
7	2026	140	51 100		1 063	495,67	-567
8	2027	140	51 100		1 063	495,67	-567
9	2028	140	51 100		1 063	495,67	-567
10	2029	140	51 100		1 063	495,67	-567
11	2030	140	51 100		1 063	495,67	-567
12	2031	140	51 100		1 063	495,67	-567
13	2032	140	51 100		1 063	495,67	-567
14	2033	140	51 100		1 063	495,67	-567
15	2034	140	51 100		1 063	495,67	-567
16	2035	140	51 100		1 063	495,67	-567
17	2036	140	51 100		1 063	495,67	-567
18	2037	140	51 100		1 063	495,67	-567
19	2038	140	51 100		1 063	495,67	-567
20	2039	140	51 100		1 063	495,67	-567
Somatório	2 940	1 073 100	218 840	21 252	240 092	-228 110	

Tabela 9.20 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C0.2 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2730	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C0.3**:

Tabela 9.21 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.3 – custo mínimo

Ultrafiltração – Custo Mínimo							
Ano		Caudal (m ³ /dia)	Volume anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	238 053 €	0	0	-238 053
1	2020	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
2	2021	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
3	2022	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
4	2023	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
5	2024	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
6	2025	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
7	2026	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
8	2027	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
9	2028	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
10	2029	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
11	2030	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
12	2031	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
13	2032	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
14	2033	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
15	2034	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
16	2035	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
17	2036	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
18	2037	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
19	2038	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
20	2039	140	51 100		1 496	495,67	-1 000
Somatório		2 940	1 073 100	238 053	29 919	9913	-254 410

Tabela 9.22 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C0.3 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,3045	2 %

Tabela 9.23 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.3 – custo máximo

Ultrafiltração – Custo Máximo							
Ano		Caudal (m ³ /dia)	Volume anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	250 937 €	0	0	-250 937
1	2020	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
2	2021	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
3	2022	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
4	2023	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
5	2024	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
6	2025	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
7	2026	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
8	2027	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
9	2028	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
10	2029	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
11	2030	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
12	2031	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
13	2032	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
14	2033	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
15	2034	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
16	2035	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
17	2036	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
18	2037	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
19	2038	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
20	2039	140	51 100		1 787	495,67	-1 291
Somatório		2 940	1 073 100	250 937	35 732	9913	-272 045

Tabela 9.24 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C0.3 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,3256	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C0.4**:

Tabela 9.25 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.4

Desinfeção via Radiação Ultravioleta							
Ano	Caudal (m ³ /dia)	Volume anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	219 612 €	0	0	-219 612
1	2020	140	51 100		1 080	495,67	-584
2	2021	140	51 100		1 080	495,67	-584
3	2022	140	51 100		1 080	495,67	-584
4	2023	140	51 100		1 080	495,67	-584
5	2024	140	51 100		1 080	495,67	-584
6	2025	140	51 100		1 080	495,67	-584
7	2026	140	51 100		1 080	495,67	-584
8	2027	140	51 100		1 080	495,67	-584
9	2028	140	51 100		1 080	495,67	-584
10	2029	140	51 100		1 080	495,67	-584
11	2030	140	51 100		1 080	495,67	-584
12	2031	140	51 100		1 080	495,67	-584
13	2032	140	51 100		1 080	495,67	-584
14	2033	140	51 100		1 080	495,67	-584
15	2034	140	51 100		1 080	495,67	-584
16	2035	140	51 100		1 080	495,67	-584
17	2036	140	51 100		1 080	495,67	-584
18	2037	140	51 100		1 080	495,67	-584
19	2038	140	51 100		1 080	495,67	-584
20	2039	140	51 100		1 080	495,67	-584
Somatório		2 940	1 073 100	219 612	21 600	9913	-229 166

Tabela 9.26 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C0.4

Custo para VAL = 0	TIR
0,2743	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C0.5**:

Tabela 9.27 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.5

Desinfeção com Ozono							
Ano		Caudal (m ³ /dia)	Volume anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	221 183 €	0	0	-221 183
1	2020	140	51 100		1 115	495,67	-620
2	2021	140	51 100		1 115	495,67	-620
3	2022	140	51 100		1 115	495,67	-620
4	2023	140	51 100		1 115	495,67	-620
5	2024	140	51 100		1 115	495,67	-620
6	2025	140	51 100		1 115	495,67	-620
7	2026	140	51 100		1 115	495,67	-620
8	2027	140	51 100		1 115	495,67	-620
9	2028	140	51 100		1 115	495,67	-620
10	2029	140	51 100		1 115	495,67	-620
11	2030	140	51 100		1 115	495,67	-620
12	2031	140	51 100		1 115	495,67	-620
13	2032	140	51 100		1 115	495,67	-620
14	2033	140	51 100		1 115	495,67	-620
15	2034	140	51 100		1 115	495,67	-620
16	2035	140	51 100		1 115	495,67	-620
17	2036	140	51 100		1 115	495,67	-620
18	2037	140	51 100		1 115	495,67	-620
19	2038	140	51 100		1 115	495,67	-620
20	2039	140	51 100		1 115	495,67	-620
Somatório		2 940	1 073 100	221 183	22 309	9913	-231 317

Tabela 9.28 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C0.5

Custo para VAL = 0	TIR
0,2768	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C0.6**:

Tabela 9.29 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C0.6

Desinfeção com cloro							
Ano	Caudal (m ³ /dia)	Volume anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	221 808 €	0	0	-221 808
1	2020	140	51 100		1 130	495,67	-634
2	2021	140	51 100		1 130	495,67	-634
3	2022	140	51 100		1 130	495,67	-634
4	2023	140	51 100		1 130	495,67	-634
5	2024	140	51 100		1 130	495,67	-634
6	2025	140	51 100		1 130	495,67	-634
7	2026	140	51 100		1 130	495,67	-634
8	2027	140	51 100		1 130	495,67	-634
9	2028	140	51 100		1 130	495,67	-634
10	2029	140	51 100		1 130	495,67	-634
11	2030	140	51 100		1 130	495,67	-634
12	2031	140	51 100		1 130	495,67	-634
13	2032	140	51 100		1 130	495,67	-634
14	2033	140	51 100		1 130	495,67	-634
15	2034	140	51 100		1 130	495,67	-634
16	2035	140	51 100		1 130	495,67	-634
17	2036	140	51 100		1 130	495,67	-634
18	2037	140	51 100		1 130	495,67	-634
19	2038	140	51 100		1 130	495,67	-634
20	2039	140	51 100		1 130	495,67	-634
Somatório		2 940	1 073 100	221 808	22 591	9913	-232 173

Tabela 9.30 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C0.6

Custo para VAL = 0	TIR
0,2779	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C1.1**:

Tabela 9.31 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.1 – custo mínimo

Filtração Rápida com Desinfeção com Radiação Ultravioleta – Custo Mínimo							
Ano	Caudal (m ³ /dia)	Volume anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	222 610 €	0	0	-222 610
1	2020	140	51 100		1 148	495,67	-652
2	2021	140	51 100		1 148	495,67	-652
3	2022	140	51 100		1 148	495,67	-652
4	2023	140	51 100		1 148	495,67	-652
5	2024	140	51 100		1 148	495,67	-652
6	2025	140	51 100		1 148	495,67	-652
7	2026	140	51 100		1 148	495,67	-652
8	2027	140	51 100		1 148	495,67	-652
9	2028	140	51 100		1 148	495,67	-652
10	2029	140	51 100		1 148	495,67	-652
11	2030	140	51 100		1 148	495,67	-652
12	2031	140	51 100		1 148	495,67	-652
13	2032	140	51 100		1 148	495,67	-652
14	2033	140	51 100		1 148	495,67	-652
15	2034	140	51 100		1 148	495,67	-652
16	2035	140	51 100		1 148	495,67	-652
17	2036	140	51 100		1 148	495,67	-652
18	2037	140	51 100		1 148	495,67	-652
19	2038	140	51 100		1 148	495,67	-652
20	2039	140	51 100		1 148	495,67	-652
Somatório		2 940	1 073 100	222 610	22 953	9 913	-233 271

Tabela 9.32 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C1.1 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2792	2 %

Tabela 9.33 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.1 – custo máximo

Filtração Rápida com Desinfeção com Radiação Ultravioleta – Custo Máximo							
Ano		Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	227 969 €	0	0	-227 969
1	2020	140	51 100		1 269	495,67	-773
2	2021	140	51 100		1 269	495,67	-773
3	2022	140	51 100		1 269	495,67	-773
4	2023	140	51 100		1 269	495,67	-773
5	2024	140	51 100		1 269	495,67	-773
6	2025	140	51 100		1 269	495,67	-773
7	2026	140	51 100		1 269	495,67	-773
8	2027	140	51 100		1 269	495,67	-773
9	2028	140	51 100		1 269	495,67	-773
10	2029	140	51 100		1 269	495,67	-773
11	2030	140	51 100		1 269	495,67	-773
12	2031	140	51 100		1 269	495,67	-773
13	2032	140	51 100		1 269	495,67	-773
14	2033	140	51 100		1 269	495,67	-773
15	2034	140	51 100		1 269	495,67	-773
16	2035	140	51 100		1 269	495,67	-773
17	2036	140	51 100		1 269	495,67	-773
18	2037	140	51 100		1 269	495,67	-773
19	2038	140	51 100		1 269	495,67	-773
20	2039	140	51 100		1 269	495,67	-773
Somatório		2 940	1 073 100	227 969	25 370	9 913	-240 606

Tabela 9.34 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C1.1 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2880	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C1.2**:

Tabela 9.35 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.2 – custo mínimo

Filtração Rápida com Desinfecção com Ozono – Custo Mínimo							
Ano	Caudal (m ³ /dia)	Volume anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	224 182 €	0	0	-224 182
1	2020	140	51 100		1 183	495,67	-687
2	2021	140	51 100		1 183	495,67	-687
3	2022	140	51 100		1 183	495,67	-687
4	2023	140	51 100		1 183	495,67	-687
5	2024	140	51 100		1 183	495,67	-687
6	2025	140	51 100		1 183	495,67	-687
7	2026	140	51 100		1 183	495,67	-687
8	2027	140	51 100		1 183	495,67	-687
9	2028	140	51 100		1 183	495,67	-687
10	2029	140	51 100		1 183	495,67	-687
11	2030	140	51 100		1 183	495,67	-687
12	2031	140	51 100		1 183	495,67	-687
13	2032	140	51 100		1 183	495,67	-687
14	2033	140	51 100		1 183	495,67	-687
15	2034	140	51 100		1 183	495,67	-687
16	2035	140	51 100		1 183	495,67	-687
17	2036	140	51 100		1 183	495,67	-687
18	2037	140	51 100		1 183	495,67	-687
19	2038	140	51 100		1 183	495,67	-687
20	2039	140	51 100		1 183	495,67	-687
Somatório		2 940	1 073 100	224 182	23 661	9 913	-235 422

Tabela 9.36 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C1.2 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2818	2 %

Tabela 9.37 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.2 – custo máximo

Filtração Rápida com Desinfeção com Ozono – Custo Máximo							
Ano		Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	229 540	0	0	-229 540
1	2020	140	51 100		1 304	495,67	-808
2	2021	140	51 100		1 304	495,67	-808
3	2022	140	51 100		1 304	495,67	-808
4	2023	140	51 100		1 304	495,67	-808
5	2024	140	51 100		1 304	495,67	-808
6	2025	140	51 100		1 304	495,67	-808
7	2026	140	51 100		1 304	495,67	-808
8	2027	140	51 100		1 304	495,67	-808
9	2028	140	51 100		1 304	495,67	-808
10	2029	140	51 100		1 304	495,67	-808
11	2030	140	51 100		1 304	495,67	-808
12	2031	140	51 100		1 304	495,67	-808
13	2032	140	51 100		1 304	495,67	-808
14	2033	140	51 100		1 304	495,67	-808
15	2034	140	51 100		1 304	495,67	-808
16	2035	140	51 100		1 304	495,67	-808
17	2036	140	51 100		1 304	495,67	-808
18	2037	140	51 100		1 304	495,67	-808
19	2038	140	51 100		1 304	495,67	-808
20	2039	140	51 100		1 304	495,67	-808
Somatório		2 940	1 073 100	229 540	26 079	9 913	-242 757

Tabela 9.38 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C1.2 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2905	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C1.3**:

Tabela 9.39 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.3 – custo mínimo

Filtração Rápida com Desinfeção com Cloro – Custo Mínimo							
Ano		Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	230 165 €	0	0	-230 165
1	2020	140	51 100		1 197	495,67	-702
2	2021	140	51 100		1 197	495,67	-702
3	2022	140	51 100		1 197	495,67	-702
4	2023	140	51 100		1 197	495,67	-702
5	2024	140	51 100		1 197	495,67	-702
6	2025	140	51 100		1 197	495,67	-702
7	2026	140	51 100		1 197	495,67	-702
8	2027	140	51 100		1 197	495,67	-702
9	2028	140	51 100		1 197	495,67	-702
10	2029	140	51 100		1 197	495,67	-702
11	2030	140	51 100		1 197	495,67	-702
12	2031	140	51 100		1 197	495,67	-702
13	2032	140	51 100		1 197	495,67	-702
14	2033	140	51 100		1 197	495,67	-702
15	2034	140	51 100		1 197	495,67	-702
16	2035	140	51 100		1 197	495,67	-702
17	2036	140	51 100		1 197	495,67	-702
18	2037	140	51 100		1 197	495,67	-702
19	2038	140	51 100		1 197	495,67	-702
20	2039	140	51 100		1 197	495,67	-702
Somatório		2 940	1 073 100	230 165	23 944	9 913	-241 636

Tabela 9.40 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C1.3 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2892	2 %

Tabela 9.41 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C1.3 – custo máximo

Filtração Rápida com Desinfecção com Cloro – Custo Máximo							
Ano		Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	230 165 €	0	0	-230 165
1	2020	140	51 100		1 318	495,67	-822
2	2021	140	51 100		1 318	495,67	-822
3	2022	140	51 100		1 318	495,67	-822
4	2023	140	51 100		1 318	495,67	-822
5	2024	140	51 100		1 318	495,67	-822
6	2025	140	51 100		1 318	495,67	-822
7	2026	140	51 100		1 318	495,67	-822
8	2027	140	51 100		1 318	495,67	-822
9	2028	140	51 100		1 318	495,67	-822
10	2029	140	51 100		1 318	495,67	-822
11	2030	140	51 100		1 318	495,67	-822
12	2031	140	51 100		1 318	495,67	-822
13	2032	140	51 100		1 318	495,67	-822
14	2033	140	51 100		1 318	495,67	-822
15	2034	140	51 100		1 318	495,67	-822
16	2035	140	51 100		1 318	495,67	-822
17	2036	140	51 100		1 318	495,67	-822
18	2037	140	51 100		1 318	495,67	-822
19	2038	140	51 100		1 318	495,67	-822
20	2039	140	51 100		1 318	495,67	-822
Somatório		2 940	1 073 100	230 165	26 361	9 913	-243 612

Tabela 9.42 – Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C1.3 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2916	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C2.1**:

Tabela 9.43 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.1 – custo mínimo

Microfiltração com Desinfeção com Radiação Ultravioleta – Custo Mínimo							
Ano	Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	220 488	0	0	-220 488
1	2020	140	51 100		1 100	495,67	-604
2	2021	140	51 100		1 100	495,67	-604
3	2022	140	51 100		1 100	495,67	-604
4	2023	140	51 100		1 100	495,67	-604
5	2024	140	51 100		1 100	495,67	-604
6	2025	140	51 100		1 100	495,67	-604
7	2026	140	51 100		1 100	495,67	-604
8	2027	140	51 100		1 100	495,67	-604
9	2028	140	51 100		1 100	495,67	-604
10	2029	140	51 100		1 100	495,67	-604
11	2030	140	51 100		1 100	495,67	-604
12	2031	140	51 100		1 100	495,67	-604
13	2032	140	51 100		1 100	495,67	-604
14	2033	140	51 100		1 100	495,67	-604
15	2034	140	51 100		1 100	495,67	-604
16	2035	140	51 100		1 100	495,67	-604
17	2036	140	51 100		1 100	495,67	-604
18	2037	140	51 100		1 100	495,67	-604
19	2038	140	51 100		1 100	495,67	-604
20	2039	140	51 100		1 100	495,67	-604
Somatório	2 940	1 073 100	220 488	21 995	9 913	-230 365	

Tabela 9.44 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C2.1 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2757	2 %

Tabela 9.45 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.1 – custo máximo

Microfiltração com Desinfeção com Radiação Ultravioleta – Custo Máximo							
Ano		Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	220 801	0	0	-220 801
1	2020	140	51 100		1 107	495,67	-611
2	2021	140	51 100		1 107	495,67	-611
3	2022	140	51 100		1 107	495,67	-611
4	2023	140	51 100		1 107	495,67	-611
5	2024	140	51 100		1 107	495,67	-611
6	2025	140	51 100		1 107	495,67	-611
7	2026	140	51 100		1 107	495,67	-611
8	2027	140	51 100		1 107	495,67	-611
9	2028	140	51 100		1 107	495,67	-611
10	2029	140	51 100		1 107	495,67	-611
11	2030	140	51 100		1 107	495,67	-611
12	2031	140	51 100		1 107	495,67	-611
13	2032	140	51 100		1 107	495,67	-611
14	2033	140	51 100		1 107	495,67	-611
15	2034	140	51 100		1 107	495,67	-611
16	2035	140	51 100		1 107	495,67	-611
17	2036	140	51 100		1 107	495,67	-611
18	2037	140	51 100		1 107	495,67	-611
19	2038	140	51 100		1 107	495,67	-611
20	2039	140	51 100		1 107	495,67	-611
Somatório		2 940	1 073 100	220 801	22 136	9 913	-230 794

Tabela 9.46 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C2.1 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2765	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C2.2**:

Tabela 9.47 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.2 – custo mínimo

Microfiltração com Desinfeção com Ozono – Custo Mínimo							
Ano		Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	222 059 €	0	0	-222 059
1	2020	140	51 100		1 135	495,67	-640
2	2021	140	51 100		1 135	495,67	-640
3	2022	140	51 100		1 135	495,67	-640
4	2023	140	51 100		1 135	495,67	-640
5	2024	140	51 100		1 135	495,67	-640
6	2025	140	51 100		1 135	495,67	-640
7	2026	140	51 100		1 135	495,67	-640
8	2027	140	51 100		1 135	495,67	-640
9	2028	140	51 100		1 135	495,67	-640
10	2029	140	51 100		1 135	495,67	-640
11	2030	140	51 100		1 135	495,67	-640
12	2031	140	51 100		1 135	495,67	-640
13	2032	140	51 100		1 135	495,67	-640
14	2033	140	51 100		1 135	495,67	-640
15	2034	140	51 100		1 135	495,67	-640
16	2035	140	51 100		1 135	495,67	-640
17	2036	140	51 100		1 135	495,67	-640
18	2037	140	51 100		1 135	495,67	-640
19	2038	140	51 100		1 135	495,67	-640
20	2039	140	51 100		1 135	495,67	-222 059
Somatório		2 940	1 073 100	222 059	22 704	9 913	-232 516

Tabela 9.48 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C2.2 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2783	2 %

Tabela 9.49 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.2 – custo máximo

Microfiltração com Desinfeção com Ozono – Custo Máximo							
Ano	Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	222 372 €	0	0	-222 372
1	2020	140	51 100		1 142	495,67	-647
2	2021	140	51 100		1 142	495,67	-647
3	2022	140	51 100		1 142	495,67	-647
4	2023	140	51 100		1 142	495,67	-647
5	2024	140	51 100		1 142	495,67	-647
6	2025	140	51 100		1 142	495,67	-647
7	2026	140	51 100		1 142	495,67	-647
8	2027	140	51 100		1 142	495,67	-647
9	2028	140	51 100		1 142	495,67	-647
10	2029	140	51 100		1 142	495,67	-647
11	2030	140	51 100		1 142	495,67	-647
12	2031	140	51 100		1 142	495,67	-647
13	2032	140	51 100		1 142	495,67	-647
14	2033	140	51 100		1 142	495,67	-647
15	2034	140	51 100		1 142	495,67	-647
16	2035	140	51 100		1 142	495,67	-647
17	2036	140	51 100		1 142	495,67	-647
18	2037	140	51 100		1 142	495,67	-647
19	2038	140	51 100		1 142	495,67	-647
20	2039	140	51 100		1 142	495,67	-647
Somatório	2 940	1 073 100	222 372	22 845	9 913	-232 944	

Tabela 9.50 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C2.2 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2788	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C2.3**:

Tabela 9.51 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.3 – custo mínimo

Microfiltração com Desinfeção com Cloro – Custo Mínimo							
Ano	Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	222 684	0	0	-222 684
1	2020	140	51 100		1 149	495,67	-654
2	2021	140	51 100		1 149	495,67	-654
3	2022	140	51 100		1 149	495,67	-654
4	2023	140	51 100		1 149	495,67	-654
5	2024	140	51 100		1 149	495,67	-654
6	2025	140	51 100		1 149	495,67	-654
7	2026	140	51 100		1 149	495,67	-654
8	2027	140	51 100		1 149	495,67	-654
9	2028	140	51 100		1 149	495,67	-654
10	2029	140	51 100		1 149	495,67	-654
11	2030	140	51 100		1 149	495,67	-654
12	2031	140	51 100		1 149	495,67	-654
13	2032	140	51 100		1 149	495,67	-654
14	2033	140	51 100		1 149	495,67	-654
15	2034	140	51 100		1 149	495,67	-654
16	2035	140	51 100		1 149	495,67	-654
17	2036	140	51 100		1 149	495,67	-654
18	2037	140	51 100		1 149	495,67	-654
19	2038	140	51 100		1 149	495,67	-654
20	2039	140	51 100		1 149	495,67	-654
Somatório		2 940	1 073 100	222 684	22 986	9 913	-233 372

Tabela 9.52 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C2.3 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2793	2 %

Tabela 9.53 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C2.3 – custo máximo

Microfiltração com Desinfeção com Cloro – Custo Máximo							
Ano		Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	222 997	0	0	-222 997
1	2020	140	51 100		1 156	495,67	-661
2	2021	140	51 100		1 156	495,67	-661
3	2022	140	51 100		1 156	495,67	-661
4	2023	140	51 100		1 156	495,67	-661
5	2024	140	51 100		1 156	495,67	-661
6	2025	140	51 100		1 156	495,67	-661
7	2026	140	51 100		1 156	495,67	-661
8	2027	140	51 100		1 156	495,67	-661
9	2028	140	51 100		1 156	495,67	-661
10	2029	140	51 100		1 156	495,67	-661
11	2030	140	51 100		1 156	495,67	-661
12	2031	140	51 100		1 156	495,67	-661
13	2032	140	51 100		1 156	495,67	-661
14	2033	140	51 100		1 156	495,67	-661
15	2034	140	51 100		1 156	495,67	-661
16	2035	140	51 100		1 156	495,67	-661
17	2036	140	51 100		1 156	495,67	-661
18	2037	140	51 100		1 156	495,67	-661
19	2038	140	51 100		1 156	495,67	-661
20	2039	140	51 100		1 156	495,67	-661
Somatório		2 940	1 073 100	222 997	23 127	9 913	-229 216

Tabela 9.54 – Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C2.3 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,2798	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C3.1**:

Tabela 9.55 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.1 – custo mínimo

Ultrafiltração com Desinfeção com Radiação Ultravioleta – Custo Mínimo							
Ano	Caudal (m ³ /dia)	Volume anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	240 014	0	-240 014	
1	2020	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
2	2021	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
3	2022	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
4	2023	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
5	2024	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
6	2025	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
7	2026	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
8	2027	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
9	2028	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
10	2029	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
11	2030	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
12	2031	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
13	2032	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
14	2033	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
15	2034	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
16	2035	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
17	2036	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
18	2037	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
19	2038	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
20	2039	140	51 100		1 540	495,67	-1 045
Somatório		2 940	1 073 100	240 014	30 804	9 913	-257 093

Tabela 9.56 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C3.1 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,3077	2 %

Tabela 9.57 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.1 – custo máximo

Ultrafiltração com Desinfeção com Radiação Ultravioleta – Custo Máximo							
Ano		Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	252 897	0	0	-252 897
1	2020	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
2	2021	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
3	2022	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
4	2023	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
5	2024	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
6	2025	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
7	2026	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
8	2027	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
9	2028	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
10	2029	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
11	2030	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
12	2031	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
13	2032	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
14	2033	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
15	2034	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
16	2035	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
17	2036	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
18	2037	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
19	2038	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
20	2039	140	51 100		1 831	495,67	-1 335
Somatório		2 940	1 073 100	252 897	36 616	9 913	-274 728

Tabela 9.58 – Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C3.1 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,3288	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C3.2**:

Tabela 9.59 Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.2 – custo mínimo

Ultrafiltração com Desinfeção com Ozono – Custo Mínimo							
Ano	Caudal (m ³ /dia)	Volume anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	241 585	0	0	-241 585
1	2020	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
2	2021	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
3	2022	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
4	2023	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
5	2024	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
6	2025	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
7	2026	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
8	2027	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
9	2028	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
10	2029	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
11	2030	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
12	2031	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
13	2032	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
14	2033	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
15	2034	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
16	2035	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
17	2036	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
18	2037	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
19	2038	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
20	2039	140	51 100		1 576	495,67	-1 080
Somatório		2 940	1 073 100	241 585	31 512	9 913	-259 243

Tabela 9.60 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C3.2 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,3103	2 %

Tabela 9.61 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.2 – custo máximo

Ultrafiltração com Desinfeção com Ozono – Custo Máximo							
Ano		Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	254 468	0	0	-254 468
1	2020	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
2	2021	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
3	2022	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
4	2023	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
5	2024	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
6	2025	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
7	2026	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
8	2027	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
9	2028	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
10	2029	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
11	2030	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
12	2031	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
13	2032	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
14	2033	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
15	2034	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
16	2035	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
17	2036	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
18	2037	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
19	2038	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
20	2039	140	51 100		1 866	495,67	-1 371
Somatório		2 940	1 073 100	254 468	37 325	9 913	-276 879

Tabela 9.62 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C3.2 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,3314	2 %

Estudo técnico económico do **cenário C3.3**:

Tabela 9.63 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.3 – custo mínimo

Ultrafiltração com Desinfeção com Cloro – Custo Mínimo							
Ano	Caudal (m ³ /dia)	Volume anual (m ³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)	
0	2019	140	51 100	242 210	0	0	-242 210
1	2020	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
2	2021	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
3	2022	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
4	2023	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
5	2024	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
6	2025	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
7	2026	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
8	2027	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
9	2028	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
10	2029	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
11	2030	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
12	2031	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
13	2032	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
14	2033	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
15	2034	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
16	2035	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
17	2036	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
18	2037	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
19	2038	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
20	2039	140	51 100		1 590	495,67	-1 094
Somatório		2 940	1 073 100	242 210	31 795	9 913	-260 099

Tabela 9.64 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C3.3 – custo mínimo

Custo para VAL = 0	TIR
0,313	2 %

Tabela 9.65 - Resultados do estudo técnico-económico obtidos para o cenário C3.3 – custo máximo

Ultrafiltração com Desinfeção com Cloro – Custo Máximo							
Ano		Caudal (m³/dia)	Volume anual (m³)	Custos de Investimento (€)	Custos de O&M (€)	Custos Evitados (€)	Cash Flow (€)
0	2019	140	51 100	255 094	0	0	-255 094
1	2020	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
2	2021	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
3	2022	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
4	2023	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
5	2024	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
6	2025	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
7	2026	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
8	2027	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
9	2028	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
10	2029	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
11	2030	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
12	2031	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
13	2032	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
14	2033	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
15	2034	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
16	2035	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
17	2036	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
18	2037	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
19	2038	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
20	2039	140	51 100		1 880	495,67	-1 385
Somatório		2 940	1 073 100	255 094	37 607	9 913	-277 735

Tabela 9.66 - Custo do ciclo de vida por m³ do cenário C3.3 – custo máximo

Custo para VAL = 0	TIR
0,3324	2 %