

FLÁVIA CARPENTER DE RESENDE

**REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS  
NA REGA DE UMA CULTURA MEDITERRÂNICA  
- IMPLICAÇÕES NAS EMISSÕES DE CARBONO**



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

2019

FLÁVIA CARPENTER DE RESENDE

**REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS TRATADAS  
NA REGA DE UMA CULTURA MEDITERRÂNICA  
- IMPLICAÇÕES NAS EMISSÕES DE CARBONO**

Mestrado em Ciclo Urbano da Água

Trabalho efetuado sob orientação de:

Professora Doutora Manuela Moreira da Silva –ISE/ UAAlg

Doutor António Martins – Grupo Águas de Portugal, AdA



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

2019

"Declaro ser a autora deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída."

“A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.”

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Paulo e Elenir, pelos ensinamentos em todas as fases da minha vida, pelo bom humor, pelo despreendimento e apoio incondicional, vindo do outro lado do oceano Atlântico para estarem por perto de nós. Ao meu marido Nivaldo por embarcar nesta aventura comigo, compartilhando os momentos bons e momentos difíceis, sendo o ponto de equilíbrio e o suporte racional e emocional necessários para a conclusão deste trabalho. Ao meu filho, Lucas, por ser o raio de sol na minha vida e a luz dos nossos dias.

Aos professores que ao longo deste percurso me ajudaram diretamente para que esse trabalho fosse realizado e aos meus amigos do LES, Vera Francisco, Helena, Bárbara, Duarte, Marcos, Vera Gonçalves e Neusa, que contribuíram direta ou indiretamente para esta tese.

A minha orientadora Professora Doutora Manuela Moreira da Silva por ter me dado a oportunidade de conhecer esse mundo novo e magnífico das águas e por todo o ensinamento dado ao longo deste percurso.

Ao meu co-orientador Doutor António Martins pela aposta neste tema e pela oportunidade de compartilhar os seus conhecimentos profissionais.

## RESUMO

Este trabalho realizou-se em 2019 na ETAR Faro Noroeste, com o objetivo de se estudar a possibilidade da reutilização do seu efluente tratado como origem alternativa para rega de uma cultura de laranjas existente nas proximidades.

Este trabalho se enquadra como um estudo preliminar de um projeto para a determinação das características iniciais da água residual tratada, da água subterrânea utilizada na rega de um laranjal e do solo onde a cultura está situada.

Foram monitorizados os aspetos relativos à quantidade e qualidade do efluente tratado neste período, e verificou-se o cumprimento dos requisitos para a sua utilização, de acordo com as novas orientações legais para o espaço comunitário europeu.

Procedeu-se à caracterização da água subterrânea utilizada atualmente no sistema de rega do laranjal assim como o solo da área produtiva, com objetivo de se determinar uma referência inicial do sistema e de comparar com a água residual tratada.

Durante o período de realização deste trabalho, foram inventariados os consumos energéticos associados à movimentação da água para rega, e comparados nos dois cenários, o da rega tradicional do laranjal (com recurso a água subterrânea) e o da rega com efluente tratado. Com base nos consumos energéticos dos dois cenários de rega (água subterrânea e reutilização do efluente tratado) foram estimadas as Emissões de Carbono no sistema ETAR-Laranjal.

Foi possível identificar a aptidão da água residual tratada para a rega de laranjas, em termos quantitativos e no que diz respeito aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Demonstrou-se que a utilização de água residual tratada permite reduzir: a de captação de água subterrânea; os consumos energéticos suportados por melhor controlo de rega; as perdas por evapotranspiração; e a necessidade em 21,5 % de fertilizantes de síntese azotados.

Associando a redução do volume de água para rega, com a redução da aplicação de fertilizantes de síntese, constatou-se que a água residual urbana tratada pode funcionar como uma ferramenta na descarbonização do sistema avaliado. Sendo pertinente o estudo da reutilização de água residual tratada para outras situações, numa lógica de proximidade entre a sua disponibilidade e a localização de outras culturas agrícolas.

Palavras-chave: Reutilização, águas residuais urbanas, cultura de laranjas.

## **ABSTRACT**

This work was carried out in 2019 at the Faro Noroeste wastewater treatment plant (WWTP), with the objective of study the possibility of reusing its treated effluent as an alternative source for irrigation of a nearby orange crop.

This work is part of a preliminary study of a project to determine the initial characteristics of treated wastewater, groundwater used for irrigating an orange grove and the soil where the crop is located.

Aspects relating to the quantity and quality of treated effluent during this period were monitored and compliance with the requirements for its use was verified in accordance with the new legal guidelines for the European Community area.

The groundwater currently used in the orangery irrigation system was characterized as well as the soil of the productive area, in order to determine an initial reference of the system and to compare it with the treated wastewater.

During the period of this work, the energy consumptions associated with the movement of water for irrigation were inventoried and compared in the two scenarios, the traditional orange grove irrigation (using groundwater) and the treated effluent irrigation. Based on the energy consumptions of the two irrigation scenarios (groundwater and treated effluent reuse), the carbon emissions in the WWTP-Orange grove system were estimated.

It was possible to identify the suitability of the wastewater treated for oranges irrigation, in quantitative and in of physicochemical and microbiological parameters terms. The use of treated wastewater has been shown to reduce: groundwater abstraction; energy consumptions supported by better irrigation control; evapotranspiration losses; and the need of 21.5 % nitrogen fertilizers.

Combining the reduction of irrigation water volume with the reduction of the application of synthetic fertilizers, it was found that treated urban wastewater can act as a tool in the decarbonization of the evaluated system. Being relevant the study of the reuse of treated wastewater for other situations, in a logic of proximity between its availability and the location of other agricultural crops.

Keywords: Reuse, urban wastewater, agriculture, orange crop.

# ÍNDICE

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE TABELAS .....	vii
ABREVIATURAS e SÍMBOLOS .....	ix
I. INTRODUÇÃO .....	1
I.1 Enquadramento do tema.....	1
I.2 Gestão sustentável da água nas cidades mediterrânicas costeiras.....	2
I.3 A importância das ETAR para o ambiente e para a saúde pública .....	5
I.4 A reutilização de água residual tratada para rega agrícola.....	7
I.5 Emissões de carbono nos sistemas .....	16
I.6 Estação de tratamento de águas residuais Faro Noroeste.....	17
I.7 Cultura experimental de laranjas.....	21
I.8 Objetivos .....	22
II. METODOLOGIA .....	23
II.1 Caracterização do efluente tratado .....	23
II.1.a Amostragem.....	23
II.1.b Ensaios físico-químicos e microbiológicos .....	24
II.2 Caracterização da água subterrânea .....	26
II.2.a Amostragem.....	26
II.2.b Ensaios físico-químicos e microbiológicos .....	27
II.3 Caracterização do solo .....	28
II.3.a Amostragem.....	28
II.3.b Pré-tratamento das amostras .....	30
II.3.c Ensaios físico-químicos.....	31

II.4	Consumos energéticos e emissões de carbono .....	32
III.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	33
III.1	Efluente tratado .....	33
III.1.a	Quantidade disponibilizada pela ETAR Faro Noroeste .....	33
III.1.b	Características físico-químicas e microbiológicas .....	35
III.2	Água subterrânea.....	38
III.2.a	Quantidade de água consumida na cultura .....	38
III.2.b	Características físico-químicas e microbiológicas .....	40
III.3	Solo da área de cultivo .....	41
III.4	Consumos energéticos e emissões de CO <sub>2</sub> nos dois cenários .....	43
IV.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
V.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura I.1:</b>	Escassez de água física e económica 2007 (adaptado de Molden, 2007).	2
<b>Figura I.2:</b>	Consumos de água desde 1900 na agricultura, indústria e usos domésticos (IGBP) (adaptado de Ritchie & Roser, 2019).	3
<b>Figura I.3:</b>	Captação de água anual per capita (adaptado de FAO, 2015).	4
<b>Figura I.4:</b>	Percentagem da população com serviços básicos de saneamento em 2015 (Adaptado de World Health Organization & United Nations International Children's Emergency Fund, 2017).	6
<b>Figura I.5:</b>	Principais usos da água em 2014 nas regiões do planeta (adaptado de The World Bank, 2019).	7
<b>Figura I.6:</b>	Localização geográfica da ETAR Faro Noroeste.	17
<b>Figura I.7:</b>	Foto de localização da ETAR Faro Noroeste (Google Maps, 2019).	18
<b>Figura I.8:</b>	ETAR Faro Noroeste (cedido por Águas do Algarve).	19
<b>Figura I.9:</b>	Área de plantio de laranjas e setores de rega.	21
<b>Figura II.1:</b>	Recipientes com amostras de água subterrânea para posterior análise.	27
<b>Figura II.2:</b>	Localização dos pontos de amostragem de solo nos setores de rega das laranjas.	29
<b>Figura II.3:</b>	Setor I – Laranjas.	29
<b>Figura II.4:</b>	Amostragem do solo.	30
<b>Figura II.5:</b>	Acondicionamento e identificação do solo amostrado.	30
<b>Figura III.1:</b>	Evolução da precipitação e do efluente bruto da ETAR Faro Noroeste nos últimos 3 anos e no período experimental (2019).	34
<b>Figura III.2:</b>	Histórico da caracterização do efluente tratado da ETAR Faro Noroeste.	35

<b>Figura III.3:</b>	Resultados das características da água residual tratada no período experimental para os parâmetros nitratos, amônia, fosfatos e sulfatos.	36
<b>Figura III.4:</b>	Resultados das características da água residual tratada no período experimental para os parâmetros Boro, pH, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, cloretos e turvação.	37
<b>Figura III.5:</b>	Resultados das características da água residual tratada no período experimental dos parâmetros Carência Bioquímica de Oxigênio e <i>Escherichia coli</i> .	38
<b>Figura III.6:</b>	Consumo mensal de água subterrânea em um setor do laranjal.	39
<b>Figura III.7:</b>	Evolução do consumo de água subterrânea por laranjeira.	39
<b>Figura III.8:</b>	Resultados das características da água residual tratada no período experimental dos parâmetros Sulfatos, Cloretos, Condutividade e Sólidos Dissolvidos Totais.	40
<b>Figura III.9:</b>	Resultados das características da água residual tratada no período experimental dos parâmetros pH, <i>Escherichia coli</i> , <i>Clostridium perfringens</i> e Enterococos fecais.	41
<b>Figura III.10:</b>	Consumo de energia elétrica por setor de rega.	43
<b>Figura III.11:</b>	Dinâmica de consumo horário de água subterrânea na rega do laranjal	44

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela I.1:</b>	Classes de qualidade mínima das águas residuais tratadas, possibilidades para utilizações agrícolas e respetivos métodos de rega permitidos (European Parliament, 2018).	10
<b>Tabela I.2:</b>	Requisitos de qualidade para reutilização de águas residuais tratadas para reutilização em rega agrícola (European Parliament, 2018).	11
<b>Tabela I.3:</b>	Frequência mínima de controlo analítico das águas residuais tratadas para reutilização em rega agrícola (European Parliament, 2018).	12
<b>Tabela I.4:</b>	Requisitos para validação da reutilização de águas residuais tratadas na rega agrícola.	13
<b>Tabela I.5:</b>	Requisitos operacionais para reutilização da água residual tratada da ETAR Faro Noroeste na rega de laranjeiras.	15
<b>Tabela I.6:</b>	Requisitos de qualidade para descarga do efluente tratado da ETAR Faro Noroeste na Ria Formosa. de acordo com a Licença de Utilização.	20
<b>Tabela II.1:</b>	Métodos analíticos utilizados pela AdA para a caracterização da água residual tratada.	24
<b>Tabela II.2:</b>	Métodos analíticos utilizados pelo LES para a caracterização da água residual tratada.	25
<b>Tabela II.3:</b>	Métodos analíticos utilizados para a caracterização da água subterrânea.	28
<b>Tabela II.4:</b>	Codificação das amostras simples.	29
<b>Tabela II.5:</b>	Codificação das amostras de solo.	31

<b>Tabela II.6:</b>	Métodos analíticos utilizados para a caracterização dos solos.	31
<b>Tabela III.1:</b>	Caudal do efluente bruto da ETAR faro Noroeste.	33
<b>Tabela III.2:</b>	Consumo histórico água subterrânea dos três setores de laranjas rega.	39
<b>Tabela III.3:</b>	Resultados de caracterização do solo da área de cultivo e valores de referência.	42

## ABREVIATURAS e SÍMBOLOS

AdA: Águas do Algarve

CBO5: Carência bioquímica de oxigénio em 5 dias

CE: Comunidade Europeia

CQO: Carência Química de Oxigênio

DL: Decreto-Lei

DRAALG: Direção Regional de Agricultura e Pesca do Algarve

E.A.A.: Espectrometria de absorção atómica

E.A.M.: Espectrometria de absorção molecular

ETAR: Estação de Tratamento de Águas Residuais

IGBP: *Global International Geosphere-Biosphere Programme*

ISE: Instituto Superior de Engenharia

ISO: *International Organization for Standardization*

LAE: *L'analyse de L'eau*

LES: Laboratório de Engenharia Sanitária

LQ: Limite de quantificação

NMP: Número mais provável

OMS: Organização Mundial da Saúde

PEF: Procedimento de ensaio físico

PEQ: Procedimento de ensaio químico

PPB: partes por bilhão

PSS: Plano de Segurança ao Saneamento

SMEWW: *Standards Methods of Water and Wastewater*

SST: Sólidos suspensos totais

SDT: Sólidos dissolvidos totais

UAlg: Universidade do Algarve

UFC: Unidades formadoras de colónias

VLE: Valor limite de emissão

# **I. INTRODUÇÃO**

## **I.1 Enquadramento do tema**

Numa região como Algarve, com características Mediterrânicas e particularmente vulnerável ao efeito das alterações climáticas, a gestão sustentável dos recursos hídricos representa um desafio complexo. A maioria dos cursos de água, correspondem a ribeiras que não apresentam caudal no período estival, pelo que a água enquanto suporte da biodiversidade é um recurso escasso. Assim sendo, a procura de origens alternativas de água para os diversos usos, é da maior importância, nomeadamente para a rega, que representa o maior consumo de água à escala global.

No ciclo urbano da água, o tratamento dos efluentes urbanos representa uma etapa crucial, em termos ambientais e da qualidade de vida das populações. No entanto muitos são os aspetos a melhorar no funcionamento da grande maioria das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), estas são frequentemente associadas a grandes consumos energéticos e a alguns outros impactos ambientais negativos, sobretudo associados à descarga dos efluentes tratados no meio natural. A potencial reutilização destes efluentes tratados, sobretudo para a rega, pode assim representar uma importante medida para a diminuição da pressão sobre os recursos hídricos. Contribuirá para diminuir a utilização de água natural para rega, necessária ao suporte dos ecossistemas, e por outro lado atendendo às suas concentrações de nutrientes (azoto e fósforo) reduzir a utilização de fertilizantes agrícolas.

Para além destes aspetos, sendo utilizada numa lógica de proximidade, a reutilização de efluentes urbanos tratados, poderá representar uma diminuição dos consumos energéticos associados às bombagens necessárias para movimentação e armazenamento de água considerando o cenário atual de rega com água subterrânea.

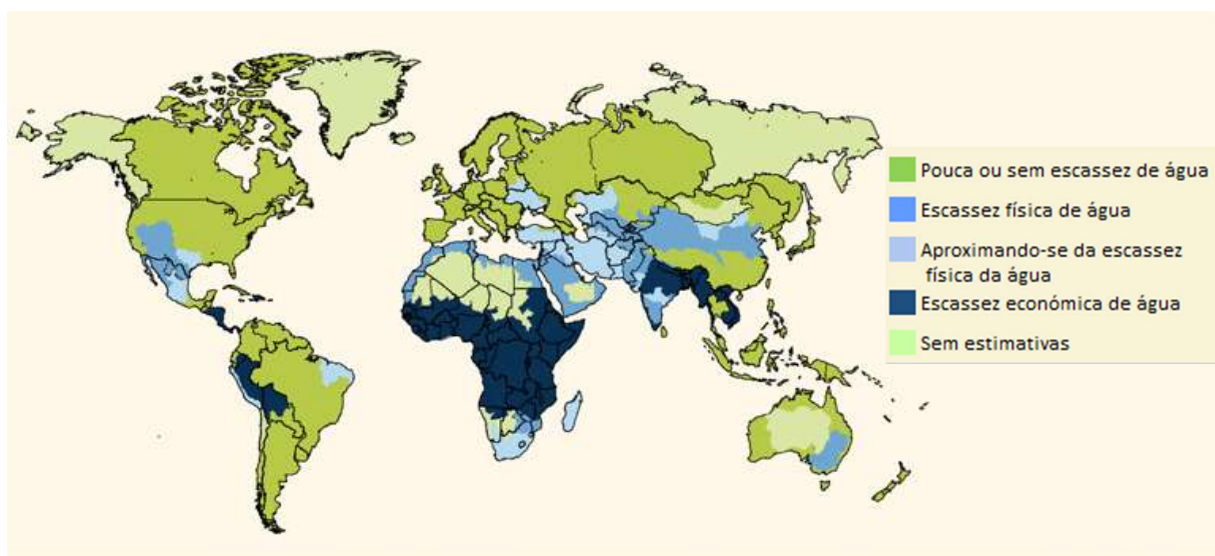
A reutilização de águas residuais tratadas, sendo da maior importância, só deve ser feita quando estão garantidos requisitos de qualidade físico-química e microbiológica que não ponham em risco a sustentabilidade ambiental e a saúde pública. As exigências legais atuais, ainda em discussão, apontam para o cumprimento de limites dos diversos parâmetros analíticos, com base em análise de risco.

Neste estudo será explorada a possibilidade da reutilização do efluente urbano tratado da ETAR Faro Noroeste para rega de um laranjal na sua proximidade, sendo abordadas as diversas questões acima referidas.

## I.2 Gestão sustentável da água nas cidades mediterrânicas costeiras

A escassez de água afeta mais de 40 % da população global e está a aumentar. Mais de 1,7 mil milhões de pessoas vivem atualmente em bacias hidrográficas em que a procura excede a capacidade de recarga (United Nations, 2019).

Considera-se que há escassez de água quando a sua disponibilidade é menor do que a procura, em quantidade ou em qualidade ajustada a cada uso. A escassez pode ser física por motivos geográficos, ou pode ser económica por falta de recursos para captar, tratar, armazenar e/ou distribuir a água. A distribuição da escassez física e económica está representada na Figura I.1.



**Figura I.1:** Escassez de água física e económica 2007 (adaptado de Molden, 2007).

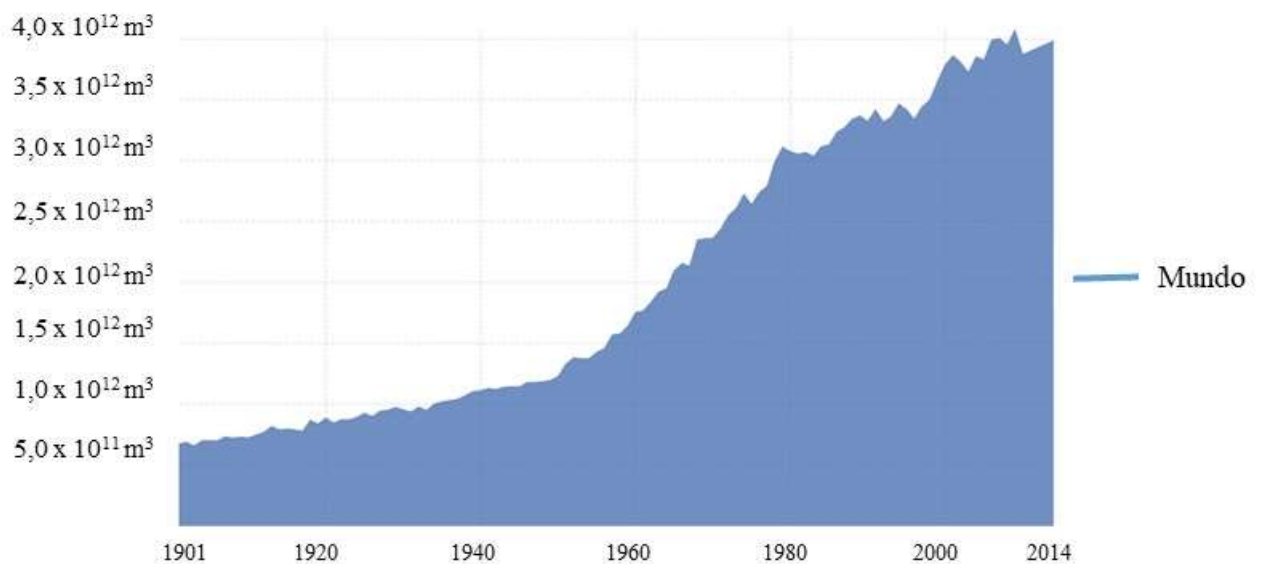
No conceito de escassez da água pode considerar-se:

- Pouca ou nenhuma escassez - recursos hídricos abundantes em relação ao uso, com menos de 25 % da água dos rios retirada para fins humanos;
- Escassez física - a captação de recursos hídricos aproxima-se ou ultrapassa limites sustentáveis. Mais de 75 % dos caudais dos rios são captados para fins agrícolas,

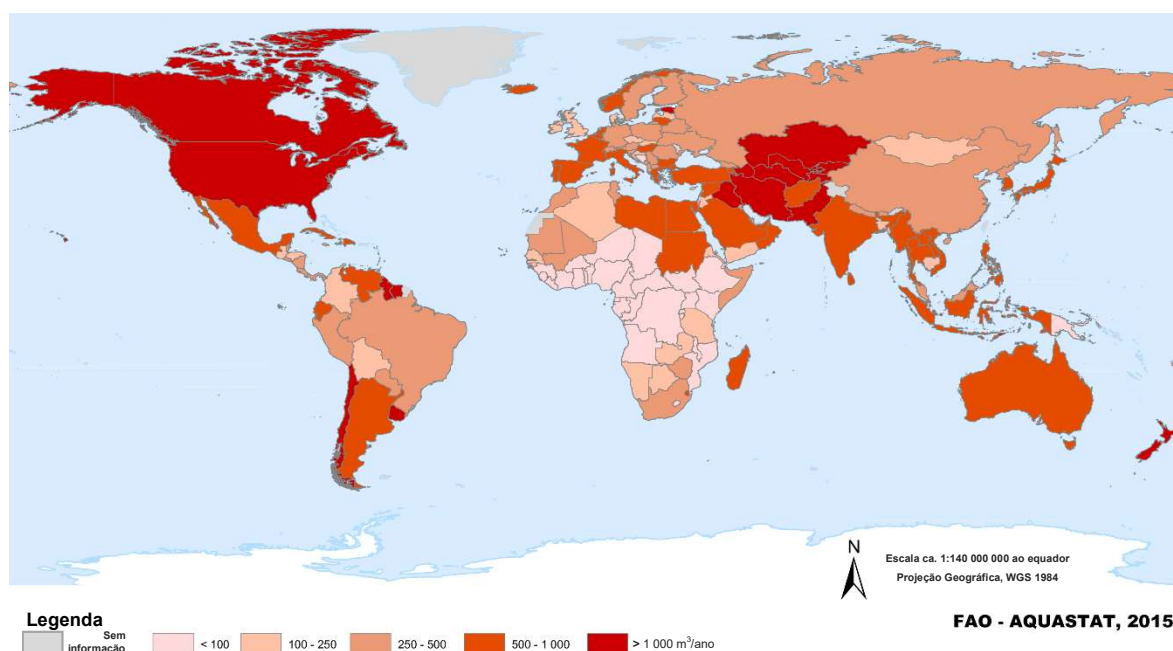
industriais e domésticos. Esta definição, relaciona a disponibilidade de água com a procura, portanto as áreas secas não são necessariamente escassas em água;

- Aproximando-se da escassez física - mais de 60 % dos caudais dos rios são retirados.
- Escassez económica: o capital humano e financeiro limita o acesso à água, mesmo que a água na natureza esteja disponível localmente para atender à procura. Nestes casos, os recursos hídricos são abundantes em relação aos usos da água, menos de 25 % da água dos rios é capturada para usos humanos (Molden, 2007).

A gestão sustentável dos recursos hídricos, em zonas como o Mediterrâneo, exige soluções integradas e capazes de fornecer respostas ao atual aumento das necessidades de água, nomeadamente para a agricultura, enfrentado os efeitos das alterações climáticas e assegurando a sustentabilidade socioeconómica e dos ecossistemas (Saliba et al., 2018). O aumento da pressão antrópica sobre os recursos hídricos, devida ao crescimento demográfico sentido nas últimas décadas e ao aumento dos consumos de água *per capita* (Figuras I.2 e I.3), representam uma séria ameaça à preservação dos habitats aquáticos mediterrânicos e da biodiversidade.



**Figura I.2:** Consumos de água desde 1900 na agricultura, indústria e usos domésticos (IGBP) (adaptado de Ritchie & Roser, 2019).



**Figura I.3:** Captação de água anual *per capita* (adaptado de FAO, 2015).

Por outro lado, nesta região, as alterações climáticas têm provocado aumento da temperatura média, aparecimento de fenómenos de ondas de calor cada vez mais intensas, redução da precipitação média e aumento da frequência de episódios extremos de precipitação. Em simultâneo, nas zonas costeiras tem-se verificado um aumento do nível médio das águas do mar e o seu conseqüente avanço sobre as cidades litorais (Nunes, et al., 2019).

Em regiões como o Algarve, grande parte dos cursos de água deixam de ter caudal nos meses mais quentes, pelo que a água é particularmente preciosa enquanto suporte de vida. Nesta região costeira, a rega agrícola representa 66 % dos consumos, seguindo-se do abastecimento municipal que representa 26 %, sendo que a rega dos campos de golfe consome os 8 % remanescentes. Em termos de origens de água, os aquíferos asseguram 87 % da procura e as albufeiras 33 % (Nunes et al., 2019).

Nos últimos anos, a concentração de pessoas nas cidades, sobretudo nas zonas costeiras, e o seu crescimento acelerado em termos de infraestruturas, procura de bens e serviços, têm contribuído para o aumento da pressão sobre os recursos e para a acentuação de episódios de escassez de água. Nas zonas urbanas, é necessária grande quantidade de água segura para os diversos usos. O impacto na saúde e na qualidade de vida pode ser muito negativo se uma população não tiver água potável para consumo humano mas com outros requisitos de qualidade ajustados aos outros usos urbanos, como a rega de espaços verdes (The World Bank, 2018).

Por outro lado, é fundamental fomentar o uso eficiente no ciclo urbano da água, evitando-se desperdícios e reduzindo custos energéticos, financeiros e ambientais.

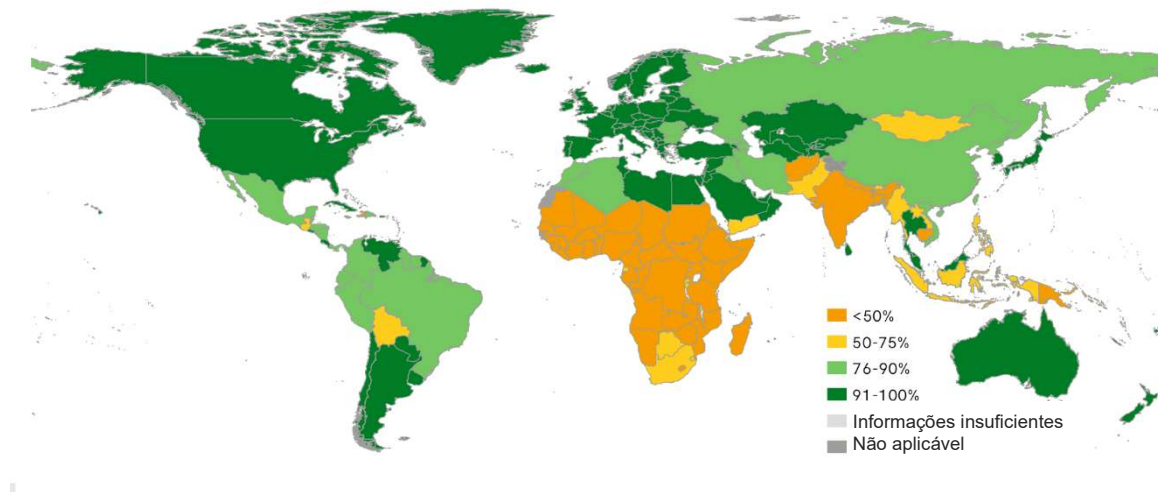
Considerando a escassez deste precioso recurso, e na ótica de se diminuir a pressão sobre os aquíferos e sobre os cursos de água, outras origens alternativas devem ser equacionadas, à semelhança do que já se faz noutras realidades geográficas (Xi & Poh, 2013).

A reutilização de águas residuais tratadas é reconhecida como uma origem alternativa, estratégica passível de contribuir para satisfazer a crescente procura de água, sobretudo para usos que não o do consumo humano. No entanto, à escala mundial a reutilização de efluentes tratados ainda é muito reduzida, correspondendo a menos de 1 % da captação/extração total da água que se consome. Em alguns países Mediterrânicos como Grécia, Itália e Espanha, onde a escassez de água é mais severa, a reutilização de água residual tratada varia entre 5 % e 12 % do total de água residual tratada, enquanto que na Europa, a média global é de 2,4 % (Saliba et al., 2018).

### **I.3 A importância das ETAR para o ambiente e para a saúde pública**

Os problemas relacionados com saneamento, higiene e água potável diferem fundamentalmente entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Nos estados mais desenvolvidos, com água potável e saneamento assegurados a toda a população, a manutenção e a otimização de funcionamento das infraestruturas instaladas para tratamento de águas residuais e para produção e abastecimento de água potável, são os desafios principais para os próximos anos. Os avanços científicos e tecnológicos destas sociedades, levaram à massificação do uso de substâncias alimentares, medicamentosas e de higiene pessoal, que atingem as águas e que carecem de ser removidas nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). As ETAR não dispõem ainda de todas as novas valências tecnológicas para a remoção destes poluentes emergentes. Por outro lado, as Estações de Tratamento de Água (ETA) e as ETAR, são infraestruturas fortemente consumidoras de energia e reagentes químicos, com grandes encargos de manutenção envolvendo muitas operações que recorrem à queima de combustíveis fósseis e por isso contribuem grandemente para a emissão de gases com efeitos de estufa. A descarbonização começa a ser uma prioridade nos países desenvolvidos, em todos os setores e em particular no da água.

Nos países em desenvolvimento, onde a água potável não está acessível a todos, 4 mil milhões de pessoas não têm acesso a serviços de saneamento e 80 % das águas residuais são lançadas no ambiente sem qualquer tratamento, conforme observado na Figura I.4. Em consequência, diariamente morrem cerca de 1 000 crianças com doenças vinculadas pela água e associadas à falta de saneamento (World Health Organization & UNICEF, 2017).

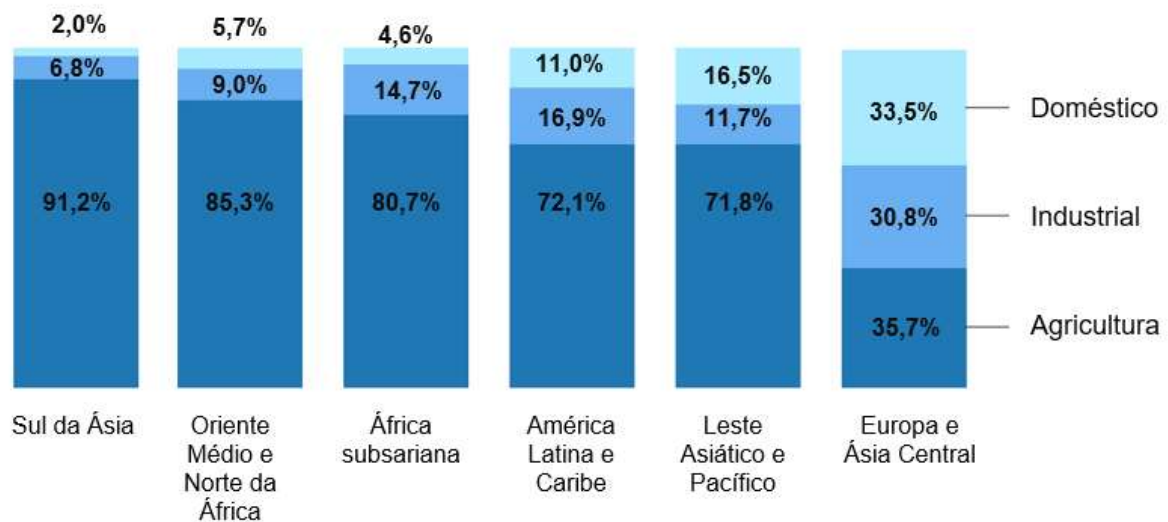


**Figura I.4:** Percentagem da população com serviços básicos de saneamento em 2015 (Adaptado de World Health Organization & United Nations International Children's Emergency Fund, 2017).

Globalmente, como a maior parte do crescimento populacional ocorrerá em áreas urbanas de países em desenvolvimento, as estimativas atuais indicam que a situação se agravará e que em 2030, 67 % da população mundial não terá acesso a sistemas de saneamento (Schwarzenbach, et al., 2010). As doenças diarreicas facilmente evitáveis e causadas pelo contacto ou ingestão de água contaminada, devido à falta de saneamento e de higiene pessoal, contribuem para 6,1 % da mortalidade global associada a doenças; estima-se que a ingestão de água não potável seja responsável por 15 % a 30 % das doenças gastrointestinais (Schwarzenbach et al., 2010).

#### I.4 A reutilização de água residual tratada para rega agrícola

A água é considerada o recurso mais crítico para o desenvolvimento agrícola sustentável em todo o mundo. As áreas que necessitam de rega aumentarão nos próximos anos, enquanto o fornecimento de água doce será desviado da agricultura para atender à crescente procura no uso doméstico e industrial. As pressões socioeconómicas e as alterações climáticas impõem restrições à água destinada à agricultura. Conforme observado na Figura I.5, a agricultura representa cerca de 70 % do consumo total de água, seguindo-se a indústria e os usos domésticos (Chartzoulakis & Bertaki, 2015).



**Figura I.5:** Principais usos da água em 2014 nas regiões do planeta (adaptado de The World Bank, 2019).

Além disso, a eficiência da rega é muito baixa, já que menos de 65 % da água aplicada é realmente usada pelas culturas. A gestão sustentável da água na agricultura, tem um papel multifuncional no sul da Europa, e pode ser alcançada com melhorias nos sistemas de rega, práticas agrícolas sustentáveis, utilização de espécies autóctones, reutilização de águas residuais tratadas, dessalinização, participação dos agricultores na gestão da água e capacitação (Chartzoulakis & Bertaki, 2015).

As águas residuais urbanas tratadas são as mais prontamente disponíveis origens de água para atender à crescente demanda por irrigação das culturas. De fato, nos últimos anos, a reciclagem de águas residuais na agricultura ganhou importância como componente do abastecimento de água agrícola em vários países escassos em água (Libutti, et al., 2018).

Atualmente, consideram-se como águas residuais urbanas, as águas residuais domésticas ou a sua mistura com águas residuais industriais e/ou água de escoamento pluvial (Comissão Europeia, 1991).

As estações de tratamento de águas residuais são infraestruturas essenciais ao ciclo urbano da água, necessárias para a proteção dos recursos hídricos e da saúde pública. Se tiverem disponíveis as soluções tecnológicas adequadas para a produção de efluentes tratados, em quantidade suficiente e com os requisitos necessários, podem constituir uma origem alternativa de água, para rega de certas culturas e numa lógica de proximidade. Complementarmente, por apresentarem concentrações de azoto e fósforo mais elevadas do que as águas tradicionalmente usadas para rega agrícola, podem diminuir a utilização de fertilizantes de síntese (Libutti et al., 2018).

Apesar da necessidade de se encontrar origens alternativas às águas naturais (subterrâneas e superficiais) para rega agrícola, a reutilização de água residual urbana tratada ainda é restrita na realidade europeia. Existem vários fatores que justificam este facto, nomeadamente: a falta de conhecimento os sobre os riscos associados à reutilização; dificuldades na verificação da qualidade das águas residuais tratadas; dificuldades na implementação de metodologias científicas para os estudos; má gestão dos aspetos sociais relacionados com a reutilização por exemplo, aceitabilidade, *marketing*, etc.(Salgot, 2008). A adoção de uma gestão sustentável da água no Mediterrâneo, não é apenas um problema tecnológico mas envolve muitos outros aspetos relativos ao comportamento social das comunidades rurais, de restrições económicas, de conjuntura legal e institucional, que globalmente podem favorecer a adoção de algumas medidas em detrimento de outras (Chartzoulakis & Bertaki, 2015).

Para que ocorra uma mudança de atitudes relativamente à reutilização de água, é necessário um grande envolvimento dos vários *stakeholders* e dos cidadãos comuns, já que nenhum indivíduo só por si, tem a capacidade implementar todas as medidas necessárias para uma estratégia sólida para reutilização de águas residuais tratadas. Portanto, há aqui uma componente social importante para facilitar o envolvimento das partes interessadas (Hartley, 2006). O nível de aceitação da reutilização de efluentes tratados por parte dos agricultores, depende: da procura de água em cada momento; da cultura agrícola em questão; dos requisitos da qualidade que efluente tratado deve cumprir para poder ser reutilizado e respetiva perceção da sua adequação; do conhecimento que possa existir de casos concretos de reutilização de águas e das respetivas vantagens (Saliba et al., 2018).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu um guia para aplicação do Plano de Segurança do Saneamento (PSS) que apresenta a aplicação prática dos Guias da OMS de 2006 para o Uso Seguro de Águas Residuais, Dejetos e Águas Cinzentas. De realçar que neste guia, está incluída uma abordagem que sobre a gestão dos riscos associados ao uso das águas residuais tratadas (World Health Organization, 2016).

A reutilização de águas residuais urbanas tratadas ainda tem sido alvo de recentes esforços legislativos, para definir os padrões dos usos, de qualidade a eles ajustada e à gestão dos riscos associados. Alguns países como Bélgica, Chipre, França, Grécia, Itália e Portugal já apresentam alguma regulamentação a respeito destes usos (Bixio, et al., 2006), (Fawell, et al., 2016).

Em termos legais, os países pertencentes à Comunidade Europeia (CE) seguem as orientações previstas pela legislação comunitária, transpondo para os direitos dos diversos estados as decisões da Comissão Europeia. O parlamento Europeu apresentou em maio de 2018 uma proposta legislativa que está em discussão no Conselho da União Europeia, a respeito da reutilização de água para rega agrícola e recarga de aquíferos, onde é estabelecida a qualidade mínima assim como os requisitos mínimos de gestão dos riscos (European Parliament, 2018).

Nesta proposta do parlamento Europeu são estabelecidos variados requisitos:

- a) A classe da água residual tratada de acordo com o uso a que se destina, considerando o tipo de cultura - Classes de A a D (Tabela I.1);
- b) Os requisitos de qualidade das águas residuais tratadas para fins de rega agrícola (Tabela I.2);
- c) A frequência mínima dos controlos analíticos de rotina das águas residuais tratadas para fins de rega agrícola (Tabela I.3);
- d) Os parâmetros de monitorização e metas de desempenho a serem cumpridas para validação das águas residuais tratadas para uso em rega agrícola (Tabela I.4);
- e) A avaliação de gestão dos riscos associados ao uso de águas residuais tratadas.

**Tabela I.1:** Classes de qualidade mínima das águas residuais tratadas, possibilidades para utilizações agrícolas e respetivos métodos de rega permitidos (European Parliament, 2018)

<b>Classe de qualidade mínima</b>	<b>Categoria de culturas</b>	<b>Método de rega</b>
A	Todas as culturas agrícolas, incluindo de raízes consumidas cruas e produtos agrícolas em que a parte comestível entra em contacto direto com as águas residuais tratadas	Todos os métodos de rega
B	Culturas de produtos agrícolas consumidos crus em que a parte comestível é produzida à superfície e não entra em contacto direto com águas residuais tratadas, produtos agrícolas transformados e culturas não alimentares, incluindo as culturas para a alimentação de animais produtores de leite ou carne	Todos os métodos de rega
C		Apenas rega gota a gota*
D	Culturas industriais, energéticas e semeadas	Todos os métodos de rega

(\*) A rega gota a gota é um método de microrrega que consegue fornecer gotas ou fluxos muito reduzidos de água às plantas, mediante o gotejamento de água no solo ou diretamente sob a sua superfície a um ritmo muito baixo (2-20 L/h), a partir de um sistema de tubos de plástico de pequeno diâmetro equipados com bocais, designados gotejadores ou microaspersores.

Após a definição de qual é o uso pretendido para a água residual tratada e consequentemente o nível de tratamento necessário, são definidos os requisitos mínimos de qualidade para que possa constituir uma origem alternativa para a rega agrícola (Tabela I.2).

**Tabela I.2:** Requisitos de qualidade para reutilização de águas residuais tratadas para reutilização em rega agrícola (European Parliament, 2018).

Classe de qualidade	Tratamento necessário recomendado	Requisitos de qualidade – metas de desempenho				
		<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)	CBO5: (mg/L O <sub>2</sub> )	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	Critérios adicionais
<b>A</b>	Tratamento secundário, filtração e desinfeção	≤ 10 ou abaixo do limite de deteção	≤ 10	≤ 10	≤ 5	<i>Legionella</i> spp.: < 1 000 UFC/L sempre que exista um risco de aerossolização em estufas
<b>B</b>	Tratamento secundário e desinfeção	≤ 100			-	
<b>C</b>	Tratamento secundário e desinfeção	≤ 1000	25 mg/L O <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	35 mg/L <sup>(1)</sup>	-	Nematódos intestinais (ovos de Helmintas): ≤ 1 ovo/L no caso da irrigação de pastos ou forragens
<b>D</b>	Tratamento secundário e desinfeção	≤ 10000			-	

(1) De acordo com as especificidades estabelecidas pela Directiva 91/271/CEE do Conselho (Anexo I, quadro 1).

As águas residuais tratadas são consideradas conformes com os requisitos previstos se as medições satisfizerem os seguintes critérios (European Parliament, 2018):

- a) Os valores indicados para *Escherichia coli*, *Legionella* spp. e Nematódos intestinais forem cumpridos em pelo menos 90 % das amostras. Nenhum valor nas amostras analisadas pode exceder o limite de desvio máximo de uma unidade logarítmica em relação ao valor indicado para *Escherichia coli* e *Legionella* spp. e de 100 % do valor indicado para Nematódos intestinais;
- b) Os valores indicados para CBO5, SST e turvação na classe A forem cumpridos em pelo menos 90 % das amostras. Nenhum valor das amostras pode exceder o limite de desvio máximo de 100 % do valor indicado.

Considerando a necessidade de controlo de uma ETAR e da monitorização dos parâmetros chave do processo, de forma a minimizar os riscos, é definida ainda frequência mínima de análises, de acordo com a classe de qualidade da água residual tratada conforme a Tabela I.3.

**Tabela I.3:** Frequência mínima de controlo analítico das águas residuais tratadas para reutilização em rega agrícola (European Parliament, 2018).

<b>Frequência mínima de monitorização</b>						
<b>Classe de qualidade</b>	<b><i>Escherichia coli</i></b>	<b>CBO5</b>	<b>SST</b>	<b>Turvação</b>	<b><i>Legionella</i> spp. (se pertinente)</b>	<b>Nematódeos intestinais (se pertinente)</b>
<b>A</b>	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Continuamente		Duas vezes por mês ou segundo frequência determinada pelo operador da estação de tratamento de acordo com o número de ovos nas águas residuais que entram na estação de tratamento
<b>B</b>	Uma vez por semana			-	Uma vez por semana	
<b>C</b>	Duas vezes por mês	(1)	(1)	-		
<b>D</b>	Duas vezes por mês			-		

(1) Em conformidade com a Directiva 91/271/CEE (Anexo I, secçãoD)

Segundo esta proposta de legislação, quando se decide optar pela reutilização de água para rega, é necessário que a ETAR em causa, tenha a validação prévia dos processos de tratamento aí utilizados. A monitorização para essa validação tem de ser efetuada antes da ETAR entrar em funcionamento, ou, após eventual intervenção para modernização de equipamentos, ou, quando forem adicionados novos equipamentos ou processos (European Parliament, 2018).

A monitorização para fins de validação deve ser efetuada relativamente à classe de qualidade mais rigorosa das águas residuais tratadas, a classe A, no sentido de se aferir se estão cumpridos os requisitos de qualidade, isto é as metas de desempenho (redução do log<sub>10</sub>). A monitorização

para fins de validação, engloba a monitorização dos microrganismos indicadores associados a cada grupo de agentes patogénicos (bactérias, vírus e protozoários). Os microrganismos indicadores selecionados são a *Escherichia coli* para as bactérias patogénicas, os colífagos F-específicos, colífagos somáticos ou colífagos para vírus patogénicos, e os esporos de *Clostridium perfringens* ou as bactérias redutoras de sulfatos formadoras de esporos para os protozoários. As metas de desempenho (redução do log<sub>10</sub>) relativas à monitorização para fins de validação dos microrganismos indicadores selecionados são definidas na Tabela I.4, e devem ser cumpridas à saída da ETAR, tendo em conta as concentrações no efluente bruto que entra em cada ETAR urbana (European Parliament, 2018).

**Tabela I.4:** Requisitos para validação da reutilização de águas residuais tratadas na rega agrícola.

<b>Classe de qualidade</b>	<b>Microrganismos indicadores (*)</b>	<b>Metas de desempenho do tratamento (redução do log<sub>10</sub>)</b>
<b>A</b>	<i>Escherichia coli</i>	≥ 5,0
	Total de colífagos / colífagos F-específicos / colífagos somáticos / colífagos(**)	≥ 6,0
	Esporos de <i>Clostridium perfringens</i> / bactérias redutoras de sulfatos formadoras de esporos(***)	≥ 5,0

(\*) Podem ser igualmente utilizados os agentes patogénicos de referência, *Campylobacter*, *Rotavirus* e *Cryptosporidium*, para efeitos de monitorização para fins de validação, em vez dos microrganismos indicadores propostos. Nesse caso, devem aplicar-se as seguintes metas de desempenho de redução do log<sub>10</sub>: *Campylobacter* (≥ 5,0), *Rotavirus* (≥ 6,0) e *Cryptosporidium* (≥ 5,0).

(\*\*) O total de colífagos é selecionado como o indicador viral mais adequado. Contudo, se a análise dos colífagos totais não for exequível, pelo menos uma destas categorias (colífagos F-específicos ou somáticos) tem de ser analisada.

(\*\*\*) Os esporos de *Clostridium perfringens* são selecionados como o indicador de protozoários mais adequado. Contudo, as bactérias redutoras de sulfatos formadoras de esporos podem servir de alternativa se a concentração de esporos de *Clostridium perfringens* não permitir validar a supressão requisitada do log<sub>10</sub>.

A qualidade final das águas residuais urbanas tratadas, a serem reutilizadas depende significativamente do controlo adequado da operação e da manutenção das ETAR.

Considerando o impacto na saúde pública e no ambiente que pode ser provocado por uma gestão inadequada do sistema de tratamento de águas residuais urbanas, a CE propôs medidas de gestão de riscos que devem ser definidas pela respetiva entidade gestora. Esta entidade deve elaborar um plano de gestão dos riscos inerentes à reutilização da água residual tratada, em que estejam identificados os requisitos adicionais para a redução dos respetivos riscos.

As diferentes etapas para a gestão de riscos propostas pela CE (European Parliament, 2018), podem ser definidas como um conjunto de procedimentos necessários, que visam garantir o uso da água residual tratada de forma segura e eficaz, nomeadamente:

1. Descrever o sistema de reutilização da água desde a entrada na ETAR até o ponto de utilização final, constando também as origens das águas residuais;
2. Identificar os perigos potenciais e o potencial de ocorrência de eventos perigosos;
3. Identificar os ambientes, as populações e os indivíduos em risco de exposição direta ou indireta aos perigos potenciais identificados;
4. Efetuar uma avaliação dos riscos que abranja tanto os riscos para o ambiente como os riscos para a saúde humana e animal;
5. Especificar requisitos para a qualidade da água e a respetiva monitorização que sejam adicionais e/ou mais rigorosos do que os requisitos definidos, quando aplicável;
6. Identificar as medidas preventivas que já estão a ser aplicadas ou que devem ser tomadas para limitar os riscos;
7. Assegurar o estabelecimento de sistemas e procedimentos adequados de controlo da qualidade;
8. Assegurar o estabelecimento de sistemas de monitorização ambiental que permitirão detetar eventuais efeitos negativos;
9. Assegurar o estabelecimento de um sistema adequado para gerir incidentes e emergências.

A ETAR Faro Noroeste garante um tratamento secundário e desinfecção, e o laranjal, que foi utilizado neste estudo, é regado com sistema gota-a-gota. Neste contexto a qualidade da água residual tratada enquadra-se na classe C, uma vez em que a cultura arbórea produz um alimento que pode ser consumido crú (laranja), e em que a parte comestível produzida não entra em contacto direto com a água residual tratada. A Tabela I.5 apresenta os requisitos para reutilização da água residual tratada considerando a classe de qualidade C.

**Tabela I.5:** Requisitos operacionais para reutilização da água residual tratada da ETAR Faro Noroeste na rega de laranjeiras.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valores Máximos</b>	<b>Frequência de monitorização</b>
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)	≤ 1 000	Duas vezes por mês
CBO5 (mg/L):	25 mg/L O <sub>2</sub>	Mensal
SST (mg/L):	35 mg/L	Mensal
Turvação (UTN)	-	-

Relativamente ao balanço de nutrientes que deve ser mantido nas diversas culturas agrícolas, as águas residuais urbanas, se devidamente tratadas, podem contribuir para o fornecimento de azoto e fósforo, o que faz com que a necessidade de produtos de síntese para fertilização dos solos seja menor, do que quando a origem da água de rega é a convencional (água natural subterrânea ou superficial) (Bdour et al., 2009).

## **I.5 Emissões de carbono nos sistemas**

Sistemas produtivos e de prestação de serviço consomem energia para a operação e manutenção de suas atividades. O balanço de massa entre entradas e saídas de CO<sub>2</sub> de um sistema apresenta como resultado as suas emissões de carbono.

No funcionamento das ETAR os processos e operações associadas a consumos de energia elétrica e de reagentes químicos, devem ser alvo de ações de melhoria, no atual contexto descarbonização. Diversos estudos têm surgido nos últimos anos, que demonstram várias possibilidades de melhorias nos processos na gestão das ETAR, de forma a minimizar as suas emissões de carbono (Mo & Zhang, 2012), (Singh & Kansal, 2018). De notar que grande parte da energia que as cidades consomem, está associada diretamente ao ciclo urbano da água (Singh & Kansal, 2018). Estes aspetos, podem refletir-se em grandes poupanças nos consumos energéticos, associados à produção de fertilizantes e às bombagens necessárias à movimentação de águas.

Em sistemas agrícolas, nos últimos 20 anos, a demanda global por Azoto tem aumentado sistematicamente - exceto no período de recessão entre os anos de 2007 e 2009. Desde o final da recessão o uso de fertilizantes a base de azoto aumentou 16,3 %, atingindo 114 Mt em 2017, sendo que os países europeus contribuem com cerca de 14 % (países da CE – 11 %) na compra de fertilizantes nitrogenados. O consumo médio de outros nutrientes primários - K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, foi 2,5 e 3,2 vezes menor, respetivamente, durante o período contabilizado (Chojnacka et al., 2019).

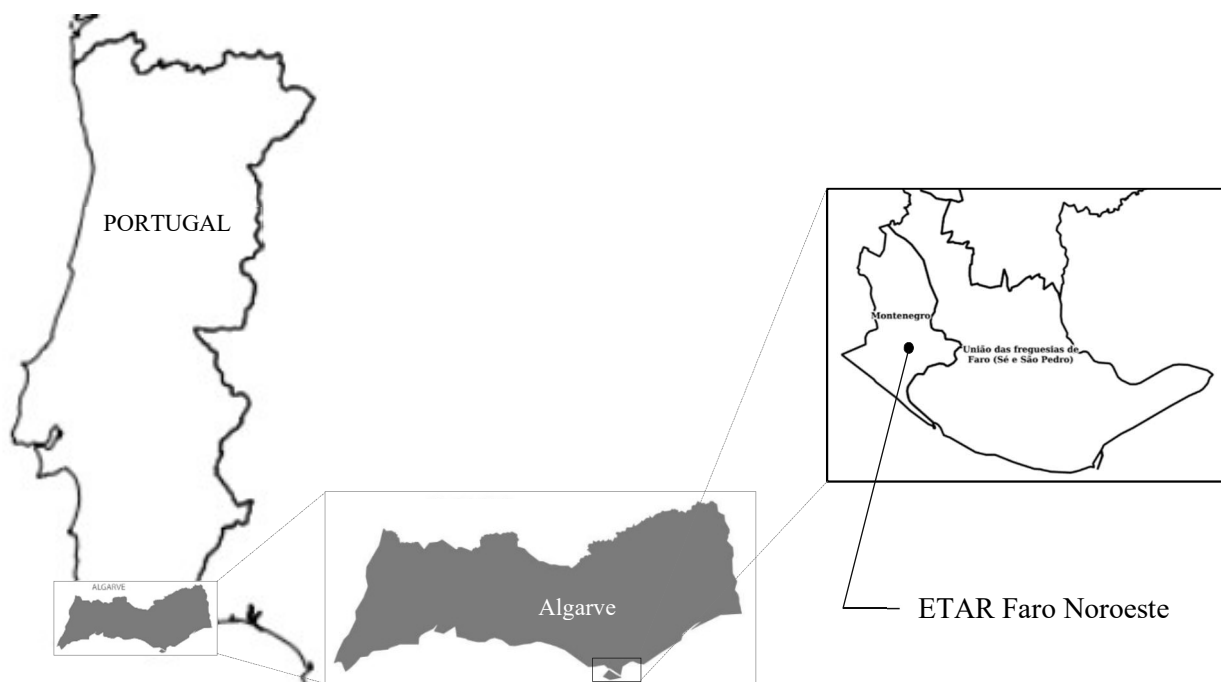
Um estudo realizado para determinar o balanço energético entre as matérias-primas e produtos para a produção de laranja em uma província do Irão demonstrou que a maior parcela de energia é consumida por fertilizantes químicos (26,9 %) e químicos (26,1 %). A proporção entre a geração de energia e o consumo de energia é de aproximadamente 0,67. Os resultados sugerem que os produtores de laranja devem otimizar o uso de recursos energéticos indiretos e não renováveis, uma vez que utilizam excessivamente os insumos energéticos aumentando os riscos para os recursos naturais e a saúde humana (Mohammadshirazi et al., 2015).

A quantidade de GEE liberada pela fertilização mineral reflete o consumo, portanto indiretamente a fabricação, de produtos contendo Azoto. Segundo Chojnacka et al. (2019), a contribuição do uso de fertilizantes minerais para o total de gases de efeito estufa difere de acordo com a área e é de cerca de 7 % para a República Popular da China enquanto abaixo de

2 % para os países membros da EU. Os valores referem-se a 22 e 19 %, respetivamente, das emissões agrícolas nessas regiões. Grande relevância neste aspeto é dada aos fertilizantes nitrogenados considerando que o óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ) apresenta o Potencial de Aquecimento Global específico cerca de 265–298 vezes maior em comparação com o  $\text{CO}_2$  para uma escala de tempo de 100 anos, e contribuição de 44 % para as emissões agrícolas de gases de efeito estufa (Chojnacka et al., 2019).

### I.6 Estação de tratamento de águas residuais Faro Noroeste

A ETAR Faro Noroeste (Figura I.6) está situada na freguesia de Montenegro no município de Faro, concelho de Faro, na região do Algarve, Portugal. Localiza-se nas imediações do aeroporto internacional de Faro e é marginal à Ria Formosa e a um terreno privado onde está plantado o laranjal onde este trabalho se realizou (Figura I.7).



**Figura I.6:** Localização geográfica da ETAR Faro Noroeste

A ETAR Faro Noroeste teve uma ampliação e remodelação concluída em 2009. A instalação abrange o tratamento de águas residuais de parte das freguesias de Almancil e de São Clemente, do Município de Loulé e parte das freguesias de Santa Bárbara de Nexe, Conceição e São Pedro e a globalidade da freguesia do Montenegro, no Município de Faro.

A ETAR Faro Noroeste foi dimensionada para tratar águas residuais de 44 500 habitantes equivalente na época de alta, e de 34 100 habitantes equivalente na época de baixa estação (Águas do Algarve, 2006).



**Figura I.7:** Foto de localização da ETAR Faro Noroeste (Google Maps, 2019)

O esquema de tratamento preconizado para a instalação desenvolve-se segundo duas linhas e baseia-se num sistema de tratamento biológico por lamas activadas, em regime de arejamento prolongado em dois reactores biológicos com a configuração de uma vala de oxidação, e com arejadores de superfície de eixo vertical (Figura I.8).

O tratamento pode ser descrito em separado, atendendo às suas fases líquida e sólida.

As operações unitárias referentes à fase líquida incluem:

- Gradagem fina em tamisadores de tambor rotativo (2 linhas);
- Remoção de areias, óleos e gorduras em desarenadores/desengorduradores retangulares (2 linhas);
- Receção de lamas das fossas sépticas (1 linha);
- Medição do caudal afluente ao tratamento biológico (1 linha);

- Tanques de contacto (*seletores*) (2 linhas);
- Reatores biológicos tipo valas de oxidação (2 linhas);
- Decantação secundária em decantadores circulares (2 linhas);
- Recirculação de lamas (2 linhas);
- Desinfecção em canal UV (1 linha);
- Aproveitamento de parte do efluente para reutilização na lavagem das telas (1 linha);
- Desinfecção adicional em linha de parte do efluente para reutilização como água de serviço (1 linha);
- Descarga final (1 linha).

As operações unitárias referentes à fase sólida incluem:

- Elevação das lamas biológicas em excesso (2 linhas);
- Condicionamento com polieletrólito (1 linha);
- Espessamento (tambores de espessamento) e desidratação mecânica (centrífuga) das lamas biológicas (2 linhas);
- Elevação de lamas desidratadas (1 linha);
- Armazenamento de lamas desidratadas em silo (1 linha).



**Figura I.8** - ETAR Faro Noroeste (cedido por Águas do Algarve).

O quadro normativo vigente para as descargas de águas residuais de origem urbana, estabelece o nível de qualidade a exigir às águas residuais descarregadas por ETAR Urbanas em função da sensibilidade do meio aquático recetor (Águas do Algarve, 2006).

A legislação aplicável à ETAR Faro Noroeste para descarga é o Decreto-Lei nº 152/97 de 19/06/97 e o Decreto-Lei nº 236/98 de 01/08/98.

O local atual da descarga do efluente tratado é a Ria Formosa numa zona de grande atividade conquícola. À luz do atual quadro normativo, toda a Ria Formosa é considerada como zona sensível, sendo o critério subjacente à sua classificação baseado nas normas sanitárias que regem a produção e a colocação no mercado de moluscos bivalves vivos estabelecida pela Directiva 91/492/CEE (Águas do Algarve, 2006).

Desse modo, o nível de tratamento exigido para a ETAR Faro Noroeste é um tratamento secundário, complementado com a desinfecção final do efluente.

Os objetivos de tratamento definidos para a ETAR Faro Noroeste, considerando o enquadramento legal e a licença de operação, exigem o cumprimento de parâmetros de qualidade à saída da instalação apresentados na Tabela I.6.

**Tabela I.6:** Requisitos de qualidade para descarga do efluente tratado da ETAR Faro Noroeste na Ria Formosa de acordo com a Licença de Utilização.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor Limite de Emissão (VLE)</b>	<b>Legislação aplicável</b>
Carência Bioquímica de Oxigénios a 20 °C (mg/L O <sub>2</sub> ) <sup>(1)</sup>	25	DL 152/97
Carência Química de Oxigénio (mg/L O <sub>2</sub> ) <sup>(1)</sup>	125	DL 152/97
Sólidos Suspensos Totais (mg/L) <sup>(1)</sup>	35	DL 152/97
Coliformes Fecais (N/100 mL)	300	DL 236/98

Os valores de concentração apresentados para os primeiros três parâmetros devem de ser interpretados à luz da alínea D) do Anexo I do Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de junho, designada por “Métodos de referência para o controlo e avaliação dos resultados”.

Relativamente ao parâmetro Coliformes fecais deve ser cumprido o Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto, considerando a média obtida mensalmente. No entanto, para efeitos de garantia o valor limite de emissão deste parâmetro deve ser alcançado em 95 % das amostras recolhidas diariamente durante pelo menos 30 dias consecutivos de amostragem, devendo igualmente a média geométrica destes valores ser inferior ao valor limite estabelecido.

Atendendo às características históricas deste efluente tratado, pretende-se analisar a possibilidade de ele ser utilizado na rega do laranjal adjacente a esta ETAR. A espécie cultivada é *Citrus sinensis* ‘Valencia late’ enxertada em ‘Troyer citrange’ que atualmente é regada com água subterrânea através de um sistema gota-a-gota.

### I.7 Cultura experimental de laranjas

A área de cultivo existente há 26 anos, pertence a uma empresa privada, localiza-se junto à ETAR Faro Noroeste, e tem uma área de laranjas e outra de clementinas, A área total é de 102 000 m<sup>2</sup> (10,2 ha), sendo que a área de plantação de laranjas corresponde a 51 000 m<sup>2</sup>. A rega nesta área de cultivo é separada em 3 setores, correspondendo a 3 397 laranjeiras conforme Figura I.9. É utilizada a técnica de fertirrega para adequação das necessidades da cultura com o uso de nitrato de potássio, ácido fosfórico e sulfato de potássio.

O período de colheita ocorre normalmente entre abril e agosto, e no ano de 2018/2019 apresentou uma produção média de 23 ton/ha.



**Figura I.9:** Área de cultivo de laranjas e setores de rega

O consumo de água subterrânea para a rega deste laranjal varia consoante ao período do ano, tendo em conta a fase do ciclo de cultivo e a precipitação.

## **I.8 Objetivos**

O **objetivo geral** deste trabalho é contribuir para a reutilização água residual urbana tratada, enquanto origem alternativa de água para rega agrícola na região do Algarve, e contribuir para a redução das emissões de carbono, no contexto atual de alterações climáticas.

### **Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho envolveram a caracterização dos aspetos relevantes, em termos de quantidade e qualidade, para a reutilização do efluente tratado da ETAR de Faro Noroeste na rega de um laranjal adjacente. Identificaram-se os requisitos legais associados à reutilização do efluente tratado, considerando a segurança ambiental e a saúde pública.

Procedeu-se à quantificação das emissões de carbono nos dois cenários de rega, com água subterrânea e com água residual urbana tratada. Avaliaram-se os consumos energéticos do sistema da bombagem com água subterrânea, e da bombagem com efluente tratado. Desta forma compararam-se as emissões de carbono em ambos os cenários de bombagem e avaliou-se se a reutilização de água para rega pode ser um instrumento que contribua para a descarbonização nesta componente do Ciclo Urbano da Água.

## **II. METODOLOGIA**

O presente estudo refere-se a 2019, de março a setembro, tendo sido realizado na ETAR Faro Noroeste e numa área adjacente de cultivo de laranjas, localizadas junto ao aeroporto de Faro.

A recolha bibliográfica necessária a este estudo foi feita recorrendo-se a motores de pesquisa automática, nomeadamente através da *b-on* e do *Scencedirect*, consulta da legislação em vigor e das normas internacionais.

Os dados relativos à caracterização físico-química e microbiológica das amostras, incluindo água subterrânea, efluente tratado e solos, foram quantificados no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) do Instituto Superior de Engenharia (ISE) da Universidade do Algarve (UAlg), e sempre que possível foram feitos triplicados de amostra.

Relativamente à caracterização histórica do efluente tratado, os dados correspondentes ao período de janeiro de 2016 a novembro de 2018 foram fornecidos pela AdA.

Todos os dados foram analisados estatisticamente de maneira a que possam ser interpretados de forma fidedigna.

### **II.1 Caracterização do efluente tratado**

O processo de caracterização da água residual urbana tratada é composto pelas etapas de amostragem e análises físico-químicas.

#### **II.1.a Amostragem**

As seis amostras de água residual tratada foram recolhidas nos dias 23 de abril, 21 de maio, 11 de junho, 26 de junho, 9 de julho e 23 de julho de 2019, durante a manhã aproximadamente a mesma hora do dia.

Para as análises físico-químicas as amostras compostas representativas de 1 período laboral (24 h) foram recolhidas no tanque anterior ao sistema de desinfecção, através de um amostrador automático devido a facilidade de acesso para instalação do equipamento.

Para a análise dos parâmetros microbiológicos a recolha pontual foi realizada a saída do sistema de desinfecção com lâmpadas UV.

Em cada coleta de amostras para parâmetros físico-químicos, foram recolhidos 10 L de água em frascos plásticos, e para os parâmetros microbiológicos foram recolhidos 2 L de água em frascos plásticos estéreis, sendo devidamente acondicionados e transportados imediatamente para o laboratório, em caixas térmicas contendo placas de gelo para acautelar o aumento da temperatura.

### II.1.b Ensaio físico-químico e microbiológico

Os dados históricos fornecidos do período de janeiro de 2016 a novembro de 2018, analisados pela AdA apresentam os métodos conforme Tabela II.1.

**Tabela II.1.b:** Métodos analíticos utilizados pela AdA para a caracterização da água residual tratada.

Parâmetro	Unidade	Método	LQ	Incerteza (%)
Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO <sub>5</sub> , 20 °C)	mg/L O <sub>2</sub>	PTL/0186 (15/11/2017)	10	41
Carência Química de oxigênio (CQO)	mg/L O <sub>2</sub>	PTL/0185 (14/05/2018)	10	18
Sólidos suspensos totais	mg/L	PTL/0181 (08/04/2016)	2	18
Azoto total	mg/L N	PTL/0183 (14/05/2018)	3	22
Fósforo total	mg/L P	PTL/0184 (14/05/2018)	0,5	19
Coliformes fecais	NMP/100 mL	Colilert-18	-	19

LQ: Limite de quantificação da técnica

Com objetivo de se estudar e caracterizar a água residual urbana tratada foram realizadas as análises químicas e físicas no LES de acordo com os métodos apresentados na Tabela II.2. Os ensaios analíticos ocorreram entre abril e setembro de 2019.

Devido a outros testes que estavam sendo realizados na ETAR Faro Noroeste em março de 2019, não foi possível realizar a amostragem neste mês, considerando que os resultados não caracterizariam a operação normal do sistema.

Nos parâmetros analisados, considerando a existência de dados históricos de azoto total e fósforo total, e para otimizar a recolha de informação e se minimizarem custos, quantificou-se no LES nitratos e amónia como formas azotadas e fosfatos como indicador da presença de fósforo no efluente. Esta estratégia de monitoramento foi utilizada tendo-se em conta que as formas utilizadas pelas plantas são nitratos, amónia e fosfatos.

**Tabela II.1.b2** Métodos analíticos utilizados pelo LES para a caracterização da água residual tratada.

Parâmetro	Unidade	Método	LQ	Incerteza%
Amónia	mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PEQ.004/05 equivalente ao SMEWW 4500-NH <sub>3</sub> F, 21ª Edição	0,12	17
Boro	mg/L B	LAE - 7.10.3	0,1	23
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO <sub>5</sub> , 20 °C)	mg/L O <sub>2</sub>	SMEWW 5210 D, 21ª Edição	5	-
Cloretos	mg/L Cl <sup>-</sup>	PEQ.018/04 equivalente ao SMEWW 4500 Cl <sup>-</sup> B, 21ª Edição	2,7	10
Condutividade a 20 °C	µS/cm	PEF.003/04	133	3
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	Método interno. ISO 9308-1:2000	-	-
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NP 4338-1:1996	4,4	17
Fosfatos	mg/L P	PEQ.003/06 equivalente ao SMEWW 4500-P E, 21ª Edição	0,13	13
pH	Escala de Sorenson	PEF.001/05 equivalente ao SMEWW 4500-H <sup>+</sup> B, 21ª Edição	-	3
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	Calculometria	-	-
Sólidos suspensos totais	mg/L	SMEWW 2540 D, 21ª Edição	5	-
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	LAE - 7.50.2	10	15
Turvação	NTU	ISO 7027:1999	1	-

LQ: Limite de quantificação da técnica

Os sólidos dissolvidos totais foram determinados indiretamente através da condutividade.

## **II.2 Caracterização da água subterrânea**

O processo de caracterização da água subterrânea é composto pelas etapas de amostragem e análises físico-químicas.

A água subterrânea utilizada na rega da área de cultivo citrinos é proveniente de um único furo. O furo fica localizado na entrada da propriedade pela rua Henrique Fernandes Serrão, Faro, Portugal. Normalmente utiliza-se fertirrega, sendo dissolvidos fertilizantes de síntese fosfatados e azotados para aplicação na cultura.

O cálculo do volume de água utilizada para a rega, foi feito através do consumo de energia elétrica, pela consulta das faturas do fornecedor de energia. Considerou-se que toda a energia é consumida pela bombagem de água, e que os seis setores consomem a mesma quantidade de água na rega.

### **II.2.a Amostragem**

As amostras foram recolhidas com periodicidade mensal entre março e julho de 2019, nos dias 27 de março, 23 de abril, 21 de maio, 24 de junho e 23 de julho, durante a manhã aproximadamente à mesma hora do dia.

As amostras de água subterrânea foram recolhidas para recipientes adequados (conforme as análises posteriores) diretamente à saída do furo, após 5 minutos de torneira aberta, de forma a amostrar a água do aquífero (Figura II.1).

Em cada coleta de amostras para parâmetros físico-químicos, foram recolhidos 10 L de água em frascos plásticos, e para os parâmetros microbiológicos foram recolhidos 2 L de água em frascos plásticos estéreis, sendo devidamente acondicionados e transportados imediatamente para o laboratório, em caixas térmicas contendo placas de gelo para acautelar o aumento da temperatura.



**Figura II.1:** Recipientes com amostras de água subterrânea para posterior análise.

### **II.2.b Ensaio físico-químico e microbiológico**

Com objetivo de caracterizar a água subterrânea utilizada para a rega do laranjal no contexto atual foram realizadas as análises químicas e físicas no LES de acordo com os métodos apresentados na Tabela II.3. Os ensaios analíticos ocorreram entre março e setembro de 2019.

**Tabela II.3:** Métodos analíticos utilizados para a caracterização da água subterrânea.

Parâmetro	Unidade	Método	LQ	Incerteza%
Amônia	mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PEQ.004/05 equivalente ao SMEWW 4500-NH <sub>3</sub> F, 21ªEdição	0,12	17
Boro	mg/L B	LAE -7.10.3	0,1	23
Cloretos	mg/L Cl <sup>-</sup>	PEQ.018/04 equivalente ao SMEWW 4500 Cl <sup>-</sup> B, 21ªEdição	2,7	10
<i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos)	N/100 mL	ISO 14189:2013	-	-
Condutividade a 20 °C	µS/cm	PEF.003/04	133	3
Enterococos fecais	N/100 mL	ISO 7899-2:2000	-	-
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	Método interno. ISO 9308-1:2000	-	-
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NP 4338-1:1996	4,4	17
Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	LAE - 7.39.1	0,05	20
Fosfatos	mg/L P	PEQ.003/06 equivalente ao SMEWW 4500-P E, 21ªEdição	0,13	13
pH	Escala de Sorenson	PEF.001/05 equivalente ao SMEWW 4500-H <sup>+</sup> B, 21ªEdição	-	3
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	mg/L	SMEWW 2540 C, 23ª edição	-	-
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/L	SMEWW 2540 B, 23ª edição	5	-
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	LAE - 7.50.2	10	15

LQ: Limite de quantificação da técnica

### II.3 Caracterização do solo

O processo de caracterização do solo é composto pelas etapas de amostragem, pré-tratamento, moagem, peneiramento, homogeneização e análises físico-químicas.

#### II.3.a Amostragem

A amostragem do solo da área de cultivo das laranjas foi realizada no dia 23 de março de 2019.

A amostragem realizou-se em diagonal dentro do setor de rega (Varennes, 2003) conforme Figura II.2.

Foram recolhidas três amostras de solo em cada setor com objetivo de se obter posteriormente em laboratório uma amostra composta por setor. As amostragens individuais foram realizadas

na proximidade das raízes das árvores, na área de rega (Figura II.3), a mesma profundidade de 5 a 10 cm e a mesma distância aproximada do sistema de rega, Figura II.4. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados conforme Figura II.5 e foi utilizada a codificação apresentada na Tabela II.4.

**Tabela II.4:** Codificação das amostras simples.

Designação	Codificação das amostras simples
Setor I Laranjas	I-L-1, I-L-2, I-L-3
Setor II Laranjas	II-L-1, II-L-2, II-L-3
Setor III Laranjas	III-L-1, III-L-2, III-L-3



**Figura II.2:** Localização dos pontos de amostragem de solo nos setores de rega das laranjas



**Figura II.3:** Setor I – Laranjas



**Figura II.4:** Amostragem do solo



**Figura II.5:** Acondicionamento e identificação do solo amostrado

Selecionaram-se para fins experimentais os dois setores com a textura mais similar (II e III), conforme se refere posteriormente.

### **II.3.b Pré-tratamento das amostras**

A sequência de pré-tratamento das amostras de solo, para possibilitar a posterior realização de análises físico-químicas, foi composta pelas etapas de secagem, moagem, peneiramento e homogeneização.

#### **Secagem**

Parte das amostras recolhidas foram dispostas em pratos plásticos para secar. As amostras de solo foram secas ao ar livre por 4 dias.

Nesta etapa foram removidas as raízes visíveis, plásticos e pedras grandes.

## Moagem

Posteriormente as amostras foram moídas em moinho de pistão e almofaria de ágata (SiO<sub>2</sub>) da marca Fritsch, modelo Pulverisette 2 por aproximadamente 8 minutos.

## Peneiramento

Após moídas as amostras foram peneiradas em peneiro de aço inox (malha/tela e armação) com abertura de 2,00 mm de diâmetro, mesh n° 10, da marca Retsch.

## Homogeneização

Essas amostras foram misturadas em partes iguais, formando uma amostra composta representativa do setor e codificadas conforme descrito na Tabela II.5.

**Tabela II.5:** Codificação das amostras de solo

Designação	Codificação das amostras simples	Codificação da amostra composta	Quantidade de amostra simples misturada
Setor I Laranjas	I-L-1, I-L-2, I-L-3	I-L	3 x 93 g
Setor II Laranjas	II-L-1, II-L-2, II-L-3	II-L	3 x 130 g
Setor III Laranjas	III-L-1, III-L-2, III-L-3	III-L	3 x 130 g

### II.3.c Ensaio físico-químico

Para se caracterizar o solo antes da rega com água residual tratada, entre março e setembro de 2019 foram realizadas as análises laboratoriais químicas e físicas no Laboratório de Engenharia Sanitária da UAlg, de acordo com os métodos apresentados na Tabela II.6.

**Tabela II.6:** Métodos analíticos utilizados para a caracterização dos solos

Parâmetro	Unidade	Método
Azoto total	mg/kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Método de Kjeldahl
Boro	mg/kg B	E.A.M. Método da Azometina - H
Cloretos	mg/kg Cl <sup>-</sup>	Titulimetria. Método de Mohr
Condutividade a 20 °C	µS/cm	EN 13038 Electrometria
Fósforo	(mg/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Extracção de acordo com Egner-Riehm. EAM. Método do ácido ascórbico
Matéria orgânica	g/kg	Titulometria. Método de Walkley-Black
pH	Escala de Sorenson	Potenciometria. ISO 10390:1994
Textura	-	Densimetria

## II.4 Consumos energéticos e emissões de carbono

Os consumos energéticos da ETAR foram quantificados a partir da informação cedida pela AdA.

Por outro lado, a informação dos consumos energéticos da bombagem da água subterrânea utilizada para a rega do laranjal, foi cedida pelo respetivo proprietário, considerando-se o período de 10 de janeiro de 2017 a 24 de agosto de 2019. O contrato de fornecimento de eletricidade do local contempla a medição em período bi-horário em ciclo diário, em que são consideradas horas de vazio das 22 h às 8 h, e fora do vazio entre 8 h e 22 h.

Contabilizou-se a água bombada para a rega do laranjal nos períodos vazio e fora do vazio. As emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao funcionamento da bomba foram calculadas através dos dados disponíveis nas faturas de energia elétrica, no respetivo período.

As emissões futuras de CO<sub>2</sub> associadas à bombagem do efluente tratado para rega do laranjal foram calculadas a partir das características da bomba e respetivos consumos, esta informação foi cedida pela AdA.

Considerando o fator de conversão de 268,77 g CO<sub>2</sub>/ kWh (Grandunion, 2019) e os dados da bomba foi possível utilizar a equação Equação III.1 para estimar a quantidade de CO<sub>2</sub>e para o sistema proposto.

**Equação III.1** – Equação de conversão para kg de CO<sub>2</sub>e

$$kg\ CO_2e = \frac{(Potencia \times Caudal\ requerido)}{Caudal\ nominal\ da\ bomba} \times \frac{Fator\ de\ conversão}{1000}$$

### III. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### III.1 Efluente tratado

##### III.1.a Quantidade disponibilizada pela ETAR Faro Noroeste

Para se analisar o histórico da quantidade de efluente tratado disponível, utilizou-se a informação relativa ao efluente bruto que entra nesta ETAR, de acordo com a informação da respetiva entidade gestora, para os últimos 3 anos, resumidamente apresentada na Tabela III.1.

Nestes três anos, o caudal ao longo dos meses, variou entre o mínimo de 115 507 m<sup>3</sup>, em novembro de 2017 e o máximo de 194 156 m<sup>3</sup> em março de 2018.

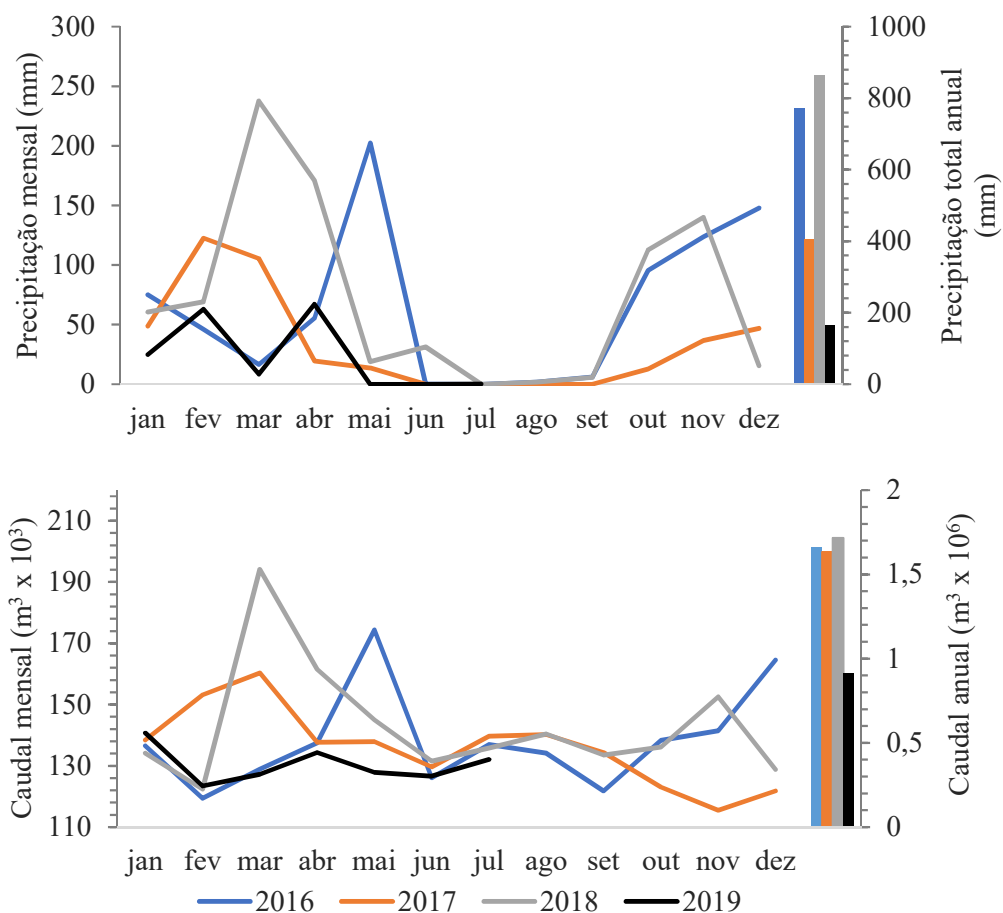
**Tabela III.1:** Caudal histórico do efluente bruto da ETAR Faro Noroeste.

<b>Caudal (m<sup>3</sup>/mês)</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Mínimo	119 371	115 507	122 375
<b>Médio</b>	<b>138 330</b>	<b>135 975</b>	<b>142 986</b>
Máximo	174 380	160 328	194 156

O Caudal mensal médio apresentou uma variação máxima de 5 % ocorrida entre anos de 2017 e 2018. Na Figura III.1 apresentam-se os dados de precipitação com base na informação da estação meteorológica do Patação – Faro (DRAALG, 2019) entre janeiro de 2016 e junho de 2019, assim como a soma dos caudais diários ao longo dos meses do efluente bruto da ETAR Faro Noroeste.

Observa-se que os maiores volumes de afluente bruto na ETAR são registados em períodos com pluviosidade o que revela que existe entrada de águas pluviais na rede de saneamento de águas residuais.

Como era de esperar, de maio a setembro a precipitação apresentou os valores mais baixos nos anos 2017, 2018 e 2019, com exceção para maio de 2016, que apresentou um pico. Esta tendência também é acompanhada com a diminuição dos caudais do efluente bruto na ETAR, exceto nos meses de julho e agosto, cujos caudais ligeiramente mais elevados estarão associados à sazonalidade da afluência turística.

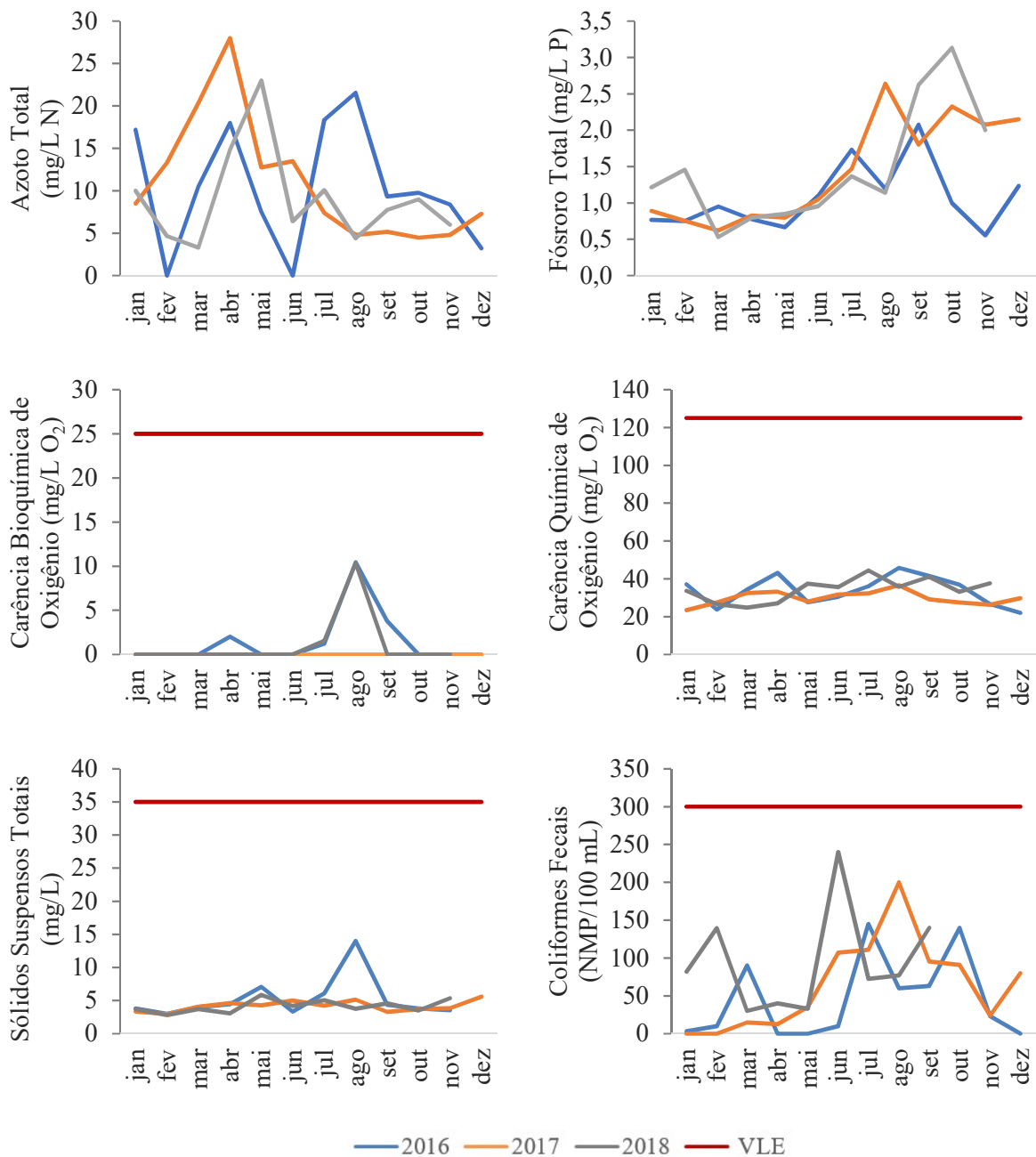


**Figura III.1:** Evolução da precipitação e do efluente bruto da ETAR Faro Noroeste nos últimos 3 anos e no período experimental (2019).

De notar que, tal como se refere mais a frente neste trabalho, o caudal do efluente tratado da ETAR Faro Noroeste é suficiente para atender as necessidades hídricas do laranjal alvo deste estudo.

### III.1.b Características físico-químicas e microbiológicas

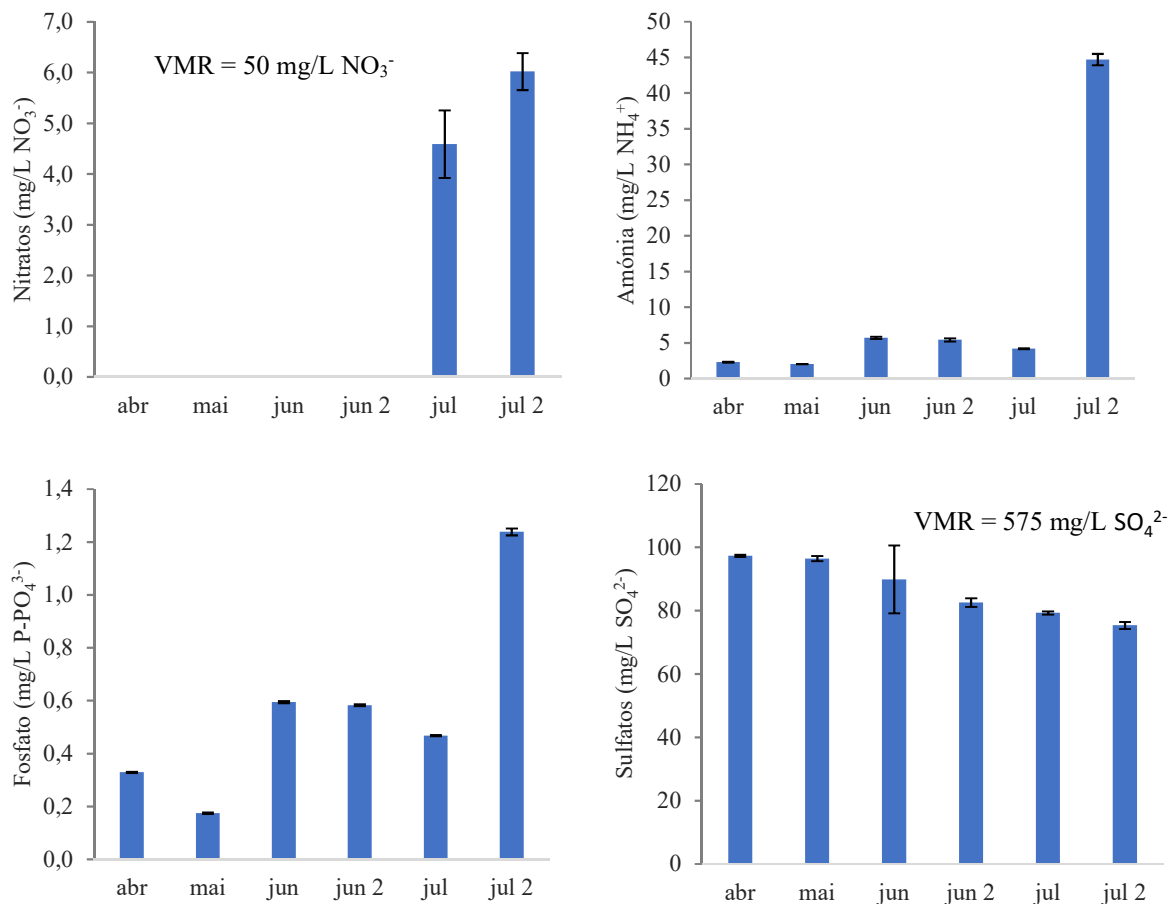
A Figura III.2 apresenta os resultados das médias mensais dos diversos parâmetros analisados no laboratório da AdA, ao longo dos 3 anos. Foi incluída a informação do Valor Limite de Emissão (VLE) de acordo com o Decreto-Lei 152/97 e o Decreto-Lei 236/98 aplicáveis à licença de exploração desta ETAR, para descarga no meio aquático. De acordo com os resultados apresentados, durante estes 3 anos todos os parâmetros cumpriram os valores limites de emissão.



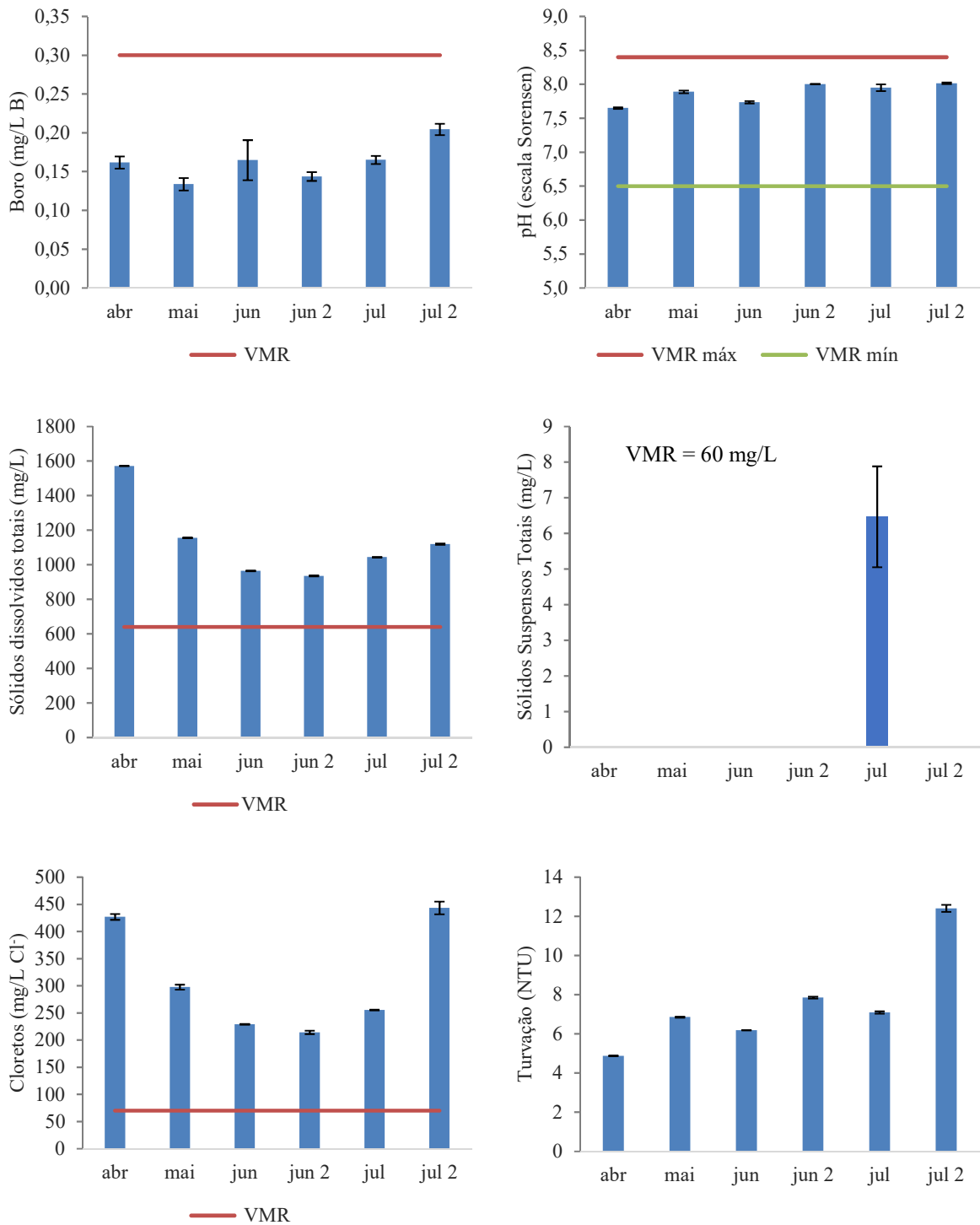
**Figura III.2:** Histórico da caracterização do efluente tratado da ETAR Faro Noroeste.

Relativamente ao período experimental deste estudo, os resultados obtidos estão representados nas Figuras III.3, III.4 e III.5.

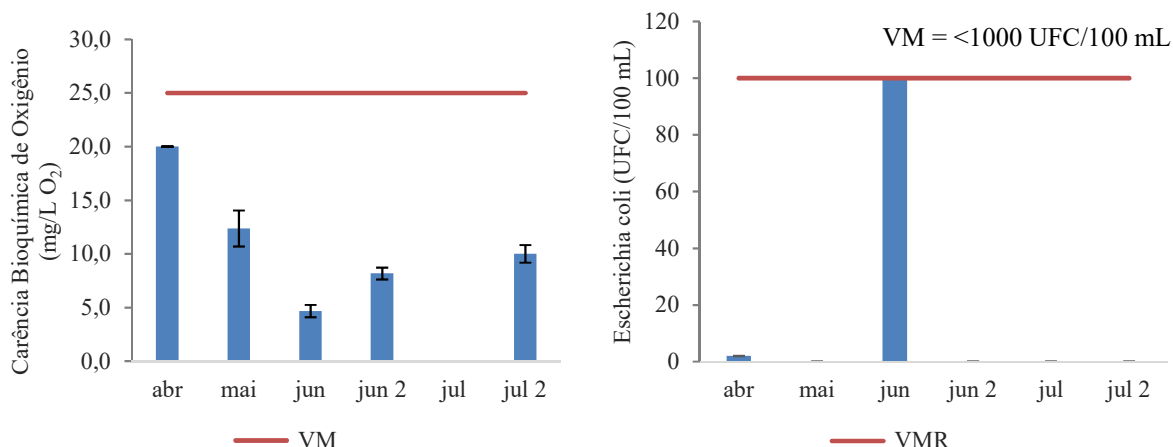
Os resultados da caracterização físico-química e microbiológica do efluente tratado, expressos como médias e respetivos desvios padrão, para os diversos ensaios realizados nas 6 amostras recolhidas de abril a julho de 2019, foram comparados com os Valores Máximos Recomendados (VMR) do Decreto-Lei nº 236/98 Anexo XVI e, sempre que possível com os Valores Máximos (VM) dos requisitos para reutilização da água residual tratada considerando a classe de qualidade C (Tabela I.5).



**Figura III.3:** Resultados das características da água residual tratada no período experimental para os parâmetros nitratos, amónia, fosfatos e sulfatos.



**Figura III.4:** Resultados das características da água residual tratada no período experimental para os parâmetros Boro, pH, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, cloretos e turvação.



**Figura III.5:** Resultados das características da água residual tratada no período experimental dos parâmetros Carência Bioquímica de Oxigênio e *Escherichia coli*.

A concentração média de Azoto na água residual tratada, obtida no período experimental foi de 3,26 mg/L N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, o que equivale a 21,5 % do total de azoto fornecido a cultura através da fertirrega no mesmo período.

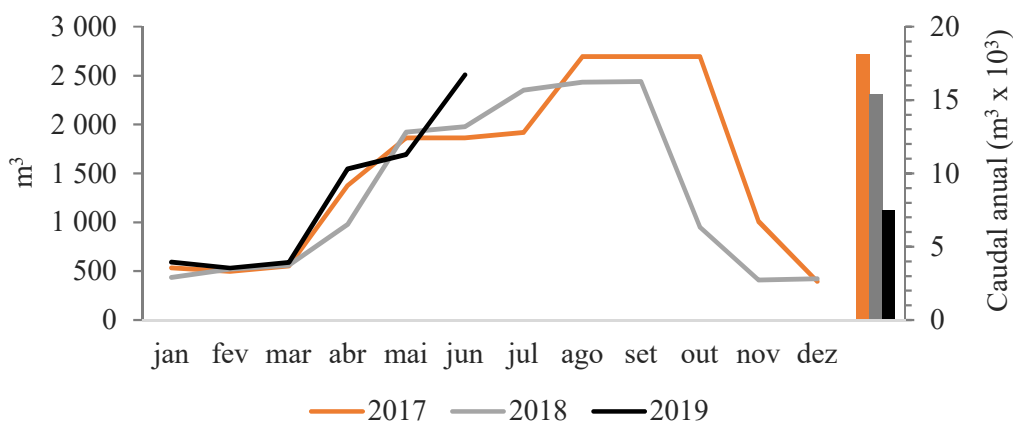
Todos os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados atendem aos Valores Máximos Recomendados do Decreto-Lei nº 236/98 Anexo XVI e dos Valores Máximos (VM) propostos pela CE, com exceção dos parâmetros cloretos (VMR = 70 mg/L Cl<sup>-</sup>), e sólidos dissolvidos totais (VMR = 640 mg/L) que ultrapassaram os Valores Máximos Recomendados para a rega.

## III.2 Água subterrânea

### III.2.a Quantidade de água consumida na cultura

O resultado de consumo histórico mensal de água subterrânea por cada um dos seis setores é apresentado na Figura III.6. Foi considerado que todos os setores utilizaram a mesma quantidade de água para a rega.

Assim como a água residual tratada sofre influência da precipitação, a quantidade de água subterrânea utilizada para a rega também se relaciona diretamente com esta variável. Quanto maior a disponibilidade de água proveniente da chuva, menor a necessidade de utilização de água subterrânea para a manutenção da cultura local como pode ser observado nas Figuras III.1 e III.6.



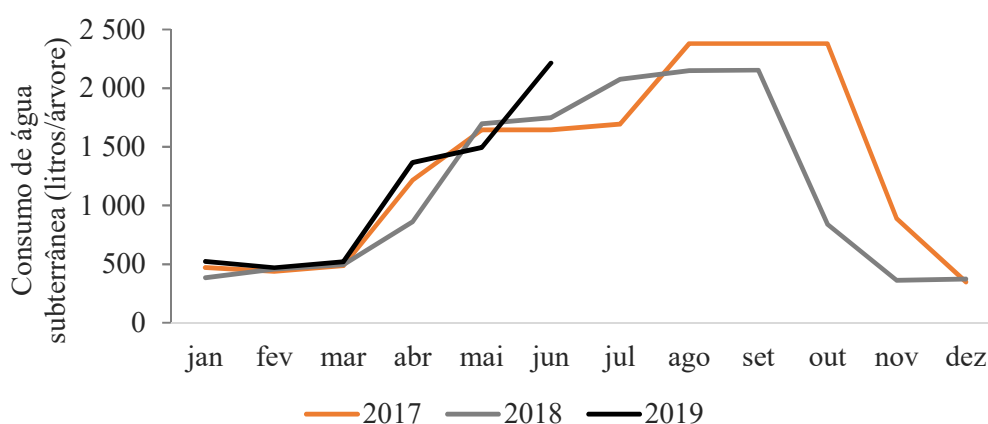
**Figura III.6:** Consumo mensal de água subterrânea em um setor do laranjal

A Tabela III.2 apresenta os dados de consumo histórico da água subterrânea para a rega dos três setores de laranjas e na Figura III.7 os consumos mensais por árvore.

**Tabela III.2:** Consumo histórico água subterrânea dos três setores de laranjas.

Consumo (m³/mês)	2017	2018	2019 <sup>(1)</sup>
Mínimo	1 182	1 229	1 598
Médio	<b>1 508</b>	<b>1 283</b>	<b>622</b>
Máximo	8 084	7 316	7 523

(1) Série de dados disponível de janeiro a junho.



**Figura III.7:** Evolução do consumo de água subterrânea por laranjeira.

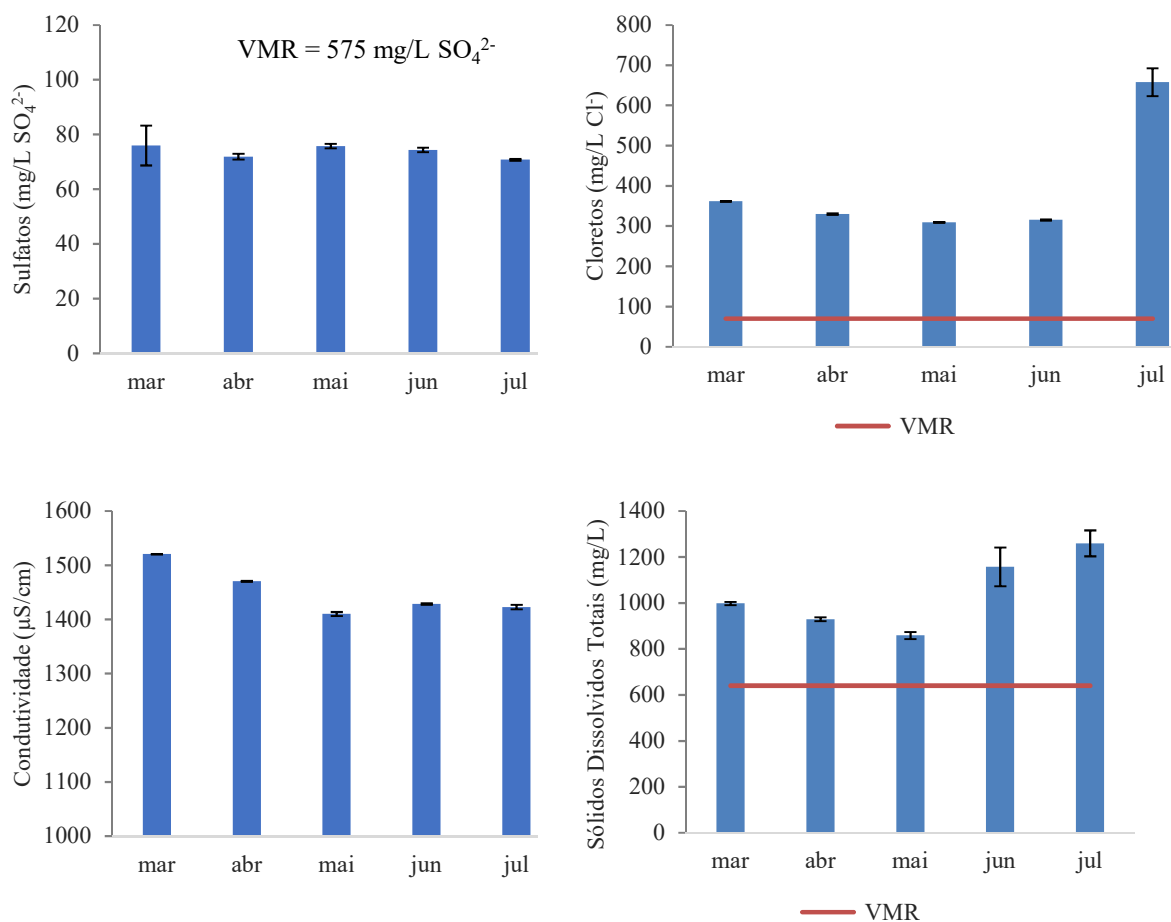
Atualmente não há sistema de controlo de rega. A determinação no momento da rega é feita com base na experiência do produtor.

Comparando os resultados das Tabelas III.1 e III.2 identifica-se que a quantidade de água residual tratada por esta ETAR é o suficiente para suprir mais do dobro das necessidades de rega desta exploração de citrinos (laranjas e outros).

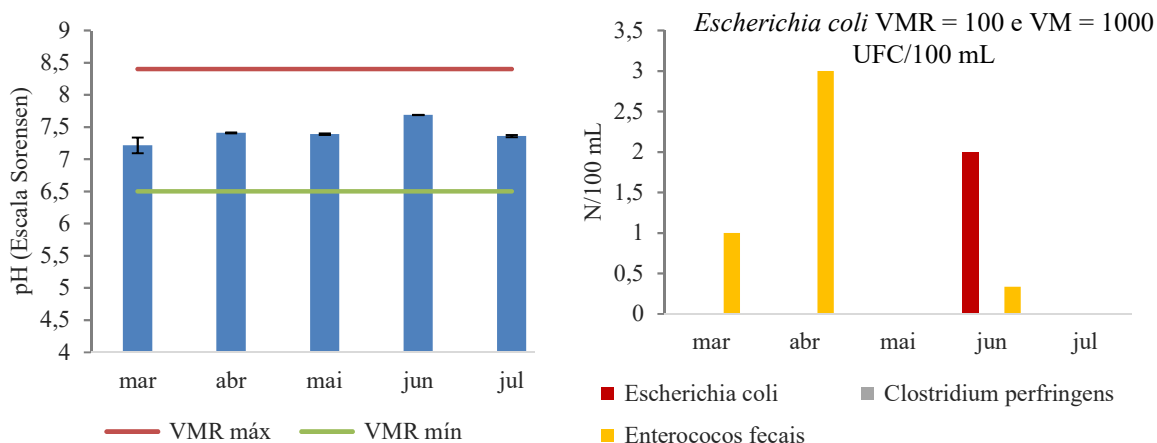
### III.2.b Características físico-químicas e microbiológicas

As Figuras III.8 e III.9 apresentam os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das 5 amostras recolhidas de água subterrânea utilizada na rega do laranjal no ano de 2019.

Os parâmetros amónia, nitratos, nitritos, fosfatos e sólidos suspensos totais apresentaram todos os resultados abaixo dos respetivos limites de quantificação (LQ) de cada método (ver Tabela II.3). O parâmetro Boro apresentou resultados abaixo do LQ nos quatro primeiros meses, apenas na última amostra recolhida em julho 2019 o resultado foi de 0,1 mg/L B.



**Figura III.8:** Resultados das características da água subterrânea no período experimental dos parâmetros Sulfatos, Cloretos, Condutividade e Sólidos Dissolvidos Totais.



**Figura III.9:** Resultados das características da água subterrânea no período experimental dos parâmetros pH, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* e Enterococos fecais.

Os parâmetros analisados apresentam os resultados em cumprimento com a legislação para a rega da cultura de laranjas, com exceção dos parâmetros cloretos e sólidos dissolvidos totais, assim como os resultados da água residual tratada para estes parâmetros.

Os resultados de cloretos, sulfatos e sólidos dissolvidos totais quando analisados em conjunto na água residual tratada e na água subterrânea sugerem que haja intrusão salina no aquífero assim como retorno da água da Ria Formosa pela maré para dentro da ETAR pelo emissário final, considerando o fato de que a amostragem foi realizada no ponto de descarga.

Através da fertirrega foi aplicado no laranjal 101 g Azoto ( $N-NH_4^+$ ) por árvore, o que equivale no período experimental de abril a junho de 2019 no total de 292 kg  $N-NH_4^+$ , nos 3 setores da cultura.

### III.3 Solo da área de cultivo

Os resultados correspondentes aos setores II e III do laranjal foram selecionados para posterior caracterização, por apresentarem texturas similares. A Tabela III.3 que se segue apresenta as médias e respectivos desvios padrão dos ensaios realizados nos solos, bem como os valores de referência para a sua interpretação.

Os solos dos setores II e III apresentaram características similares, exceto para o parâmetro cloretos, que pode ter sofrido influencia da rega no local onde a amostra foi colhida.

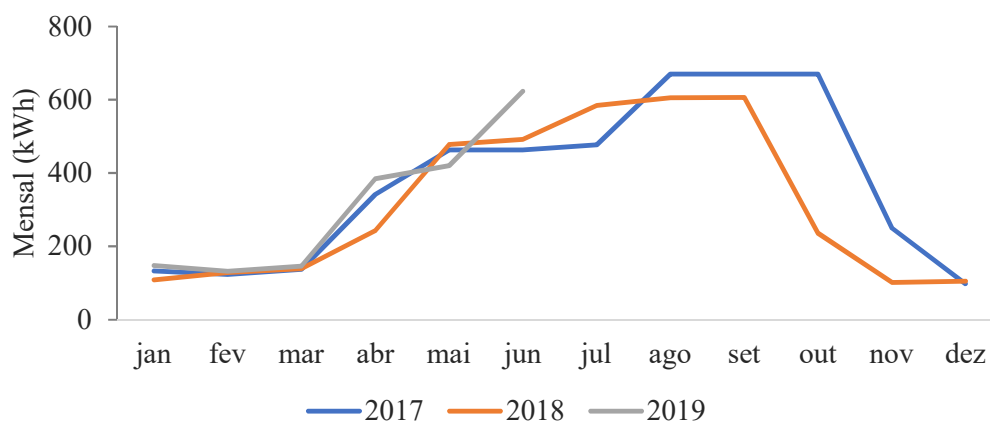
**Tabela III.3:** Resultados de caracterização do solo da área de cultivo e valores de referência.

Análises	Resultado Setor Laranjas II	Resultado Setor Laranjas III	Valor de referência e interpretação	Referência
Azoto (mg/kg N-NH <sub>4</sub> )	448 ± 36	336 ± 15	-	-
Boro (mg/kg B)	0,57 ± 0,03	0,70 ± 0,04	≤0,2 Muito baixo 0,21-0,40 Baixo 0,41-1,0 Médio 1,1-2,5 Alto >2,5 Muito Alto	Sillanpää (1982); Costa e Fernandes (1996)
Cloretos (mg/kg)	87 ± 4	534 ± 97	5-800 mg/kg	(Varenes, 2003)
Condutividade a 20 °C (mS/cm)	0,20 ± 0,01	0,7 ± 0,04	<0,40 Não salino 0,40-0,80 Muito pouco salino 0,81-1,60 Pouco salino 1,61-2,40 Moderadamente salino 2,41-3,20 Fortemente salino >3,20 Muito fortemente salino	(Varenes, 2003)
Fósforo (mg/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	403 ± 17	477 ± 17	≤10 Muito baixo 11-20 Baixo 21-45 Médio 46-90 Alto >90 Muito Alto	(Varenes, 2003)
Matéria orgânica (% m/m)	1,20 ± 0,10	1,10 ± 0,03	<b>Textura</b> <b>Grosseira</b> ≤0,5 0,6-1,5 1,6-3,0 3,1-4,5 >4,5 <b>Mediana</b> ≤1,0 1,1-2,0 2,1-4,0 4,1-6,0 >6,0	(Varenes, 2003)
pH (Escala de Sorenson)	7,60 ± 0,1	7,50 ± 0,02	≤4,5 Muito ácido 4,6-5,5 Ácido 5,6-6,5 Pouco ácido 6,6-7,5 Neutro 7,6-8,5 Pouco alcalino 8,6-9,5 Alcalino >9,5 Muito Alcalino	(Varenes, 2003)
Textura	Areno francosa	Areno francosa	<b>Grosseira</b> Arenosa Areno-francosa Franco-arenosa <b>Mediana</b> Franca Franco-limosa Limosa Franco-argilo-arenoso <b>Fina</b> Franco-argilo-limosa Franco-argilosa Argilo-arenosa Argilo-limosa Argilosa	(Varenes, 2003)

Os resultados estão apresentados com o respetivo desvio padrão. Por limitações laboratoriais não foi possível apresentar neste estudo todos os resultados analíticos previstos.

### III.4 Consumos energéticos e emissões de CO<sub>2</sub> nos dois cenários

Os consumos energéticos médios mensais de 2017 a junho de 2019 na bombagem da água subterrânea para a rega de cada setor experimental é apresentado na Figura III.10.

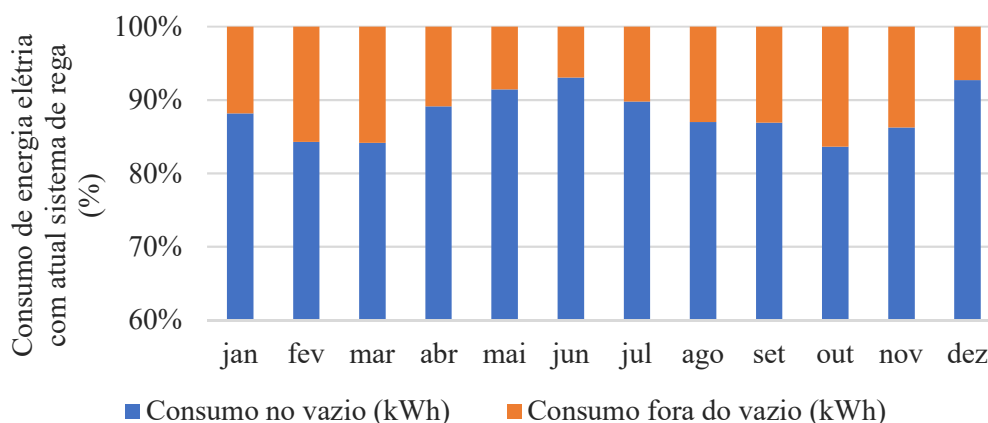


**Figura III.10:** Consumo de energia elétrica por setor de rega.

Os resultados demonstram que o primeiro semestre de 2019 apresentou um aumento médio de 14 % quando comparado com o mesmo período de 2017 e 2018. Tal facto pode ser relacionado com a redução da precipitação no ano de 2019, quando comparado com o mesmo período dos últimos dois anos, aumentando a necessidade de rega e, portanto, os consumos energéticos na bombagem da água subterrânea.

Em regiões como o Algarve, nos meses mais quentes, a rega no horário fora do vazio (8h às 22h), tende a consumir mais água devido a evapotranspiração e consequentemente maior consumo de energia elétrica na bombagem.

Analisando os dados de base identificou-se que em 2017 o percentual de consumo de energia elétrica nas horas de vazio foi de 82 %, enquanto em 2018 foi de 93 % e nos primeiros 6 meses de 2019 foi de 94 %. A Figura III.11 apresenta a média mensal dos anos de 2017, 2018 e 2019 (até junho).



**Figura III.11:** Dinâmica de consumo horário de água subterrânea na rega do laranjal.

A forma de operação do sistema de rega influencia a quantidade de água utilizada, o consumo de energia elétrica e o consumo de fertilizantes.

A geração de carbono dos sistemas de rega com água subterrânea e com água residual tratada está diretamente associada com consumo de energia elétrica, e varia de acordo com a matriz energética associada a produção de energia.

A área total da cultura de laranja (3 setores) emitiu 3,6 t CO<sub>2e</sub> em 2017, 3,1 t CO<sub>2e</sub> em 2018 e nos primeiros 6 meses de 2019, 1,5 t CO<sub>2e</sub>, relacionada ao sistema de bombagem de rega.

Para o fornecimento de água residual tratada para a rega do laranjal prevê-se um sistema de bombagem composto por bomba e módulo controlador a serem instalados na saída do efluente da ETAR. De acordo com os dados fornecidos pela AdA, a potência requerida pela bomba do tipo submersa para um caudal nominal de 30 m<sup>3</sup>/h é de 7,5 kW. Apesar do caudal e potência serem os mesmos do que o sistema atualmente instalado, com a utilização do módulo controlador será possível adequar o horário da rega, minimizando a rega no horário onde mais ocorre a evapotranspiração, otimizando assim a quantidade de água, a energia consumida e o carbono gerado.

Considerando a perspectiva de presença de macronutrientes nitrogénio e fósforo na água residual tratada, identifica-se que em média durante o período experimental o N em forma de azoto amoniacal apresentou o valor médio de 3,26 mg/L (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), e que o P em forma de fosfato apresentou o valor médio de 0,98 mg/L (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Foram desconsiderados os resultados das análises de 27/07/19 para o cálculo da média, pois apresentaram valores discrepantes dos demais.

## IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar a água residual tratada como origem alternativa ao uso da água subterrânea para a rega de um laranjal diante dos desafios à adaptação as alterações climáticas na região do Mediterrâneo.

Os resultados demonstram que, durante o período avaliado, o efluente tratado da ETAR Faro Noroeste apresentou quantidade adequada para suprir a necessidade da cultura de laranja utilizando a lógica de proximidade entre as áreas.

Referente a qualidade todos os parâmetros avaliados do efluente tratado cumpriram os requisitos necessários para a rega de acordo com a legislação atual, exceto para Cloretos e Sólidos Dissolvidos Totais, os quais apresentaram valores médios de 311 mg/L e 1 132 mg/L respectivamente. Faz-se notar que a água subterrânea utilizada há 26 anos para a rega no local apresentou valores médios de 395 mg/L de Cloretos e 1 040 mg/L de Sólidos Dissolvidos Totais. Tais características sugerem que haja intrusão salina no aquífero e na área de descarga da ETAR.

O sólido dissolvido total pode ocasionar a colmatção do sistema de rega e o cloreto pode trazer a salinização do solo, mas considerando que a cultura sempre foi regada com esta água subterrânea, e que o solo apresentou características pouco ou não salinas, os resultados sugerem que para o local em estudo esses parâmetros podem apresentar pouco impacto.

A água residual urbana tratada, apresentou no período experimental, concentrações médias de Azoto de 3,26 mg/L N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; o que representa 21,5 % do total de Azoto fornecido para a cultura de laranjas através da fertirrega. Ficou demonstrado que essa origem alternativa de água, pode diminuir a quantidade de fertilizantes de síntese azotados aplicados na cultura.

A geração de carbono para o atual sistema de rega com água subterrânea foi de 3,4 t CO<sub>2</sub> na média dos anos 2017 e 2018. Apesar da bombagem de efluente tratado prever uma bomba/motor de mesmo consumo energético que o sistema atual, a redução da geração de carbono do sistema ETAR-Laranjal pode vir a ser considerada pela diminuição do uso de fertilizantes de síntese na cultura da laranja devido ao aporte de azoto amoniacal e de fosfato.

Além do aspeto dos macronutrientes, com o uso de novo sistema de bomba/motor e controlador de rega, seria possível otimizar o fornecimento de água em horários de vazio, onde há menor

perda de água por evapotranspiração e conseqüentemente menor consumo global de água na cultura.

Diante dos resultados obtidos sugere-se que seja instalado o sistema de controlo de rega no laranjal gerando maior eficiência económica e operacional.

Foi possível identificar a aptidão da água residual tratada para a rega de laranjas, em termos quantitativos e no que diz respeito aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Demonstrou-se que a utilização de água residual tratada permite reduzir: a de captação de água subterrânea; os consumos energéticos suportados por melhor controlo de rega e as perdas por evapotranspiração.

A utilização da água residual tratada permite aumentar a disponibilidade da água subterrânea para outros usos, como a produção de água para consumo humano, assim como possibilita a manutenção do papel ecológico deste aquífero.

Associando a redução do volume de água para rega, com a redução da aplicação de fertilizantes de síntese, constatou-se que a água residual urbana tratada pode funcionar como uma ferramenta na descarbonização do sistema avaliado. Sendo pertinente o estudo da reutilização de água residual tratada para outras situações, numa lógica de proximidade entre a sua disponibilidade e a localização de outras culturas agrícolas.

No âmbito de um projeto futuro para a reutilização do efluente urbano tratado, sugere-se:

- A instalação um sistema com válvulas anti-retorno na descarga da ETAR evitando a entrada da água da Ria Formosa no sistema;
- A avaliação do fruto antes, durante e depois da utilização do efluente tratado e o monitoramento das características do solo nestas fases de um projeto.

Como continuidade do trabalho realizado sugere-se proceder da avaliação de riscos da reutilização do efluente tratado para esta rega e um balanço de nutrientes adequados a cultura da laranja com objetivo de quantificar os benefícios do fornecimento de azoto e fósforo pelo efluente tratado.

## V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águas de Algarve, A. (2006). *Documento de projeto: Remodelação e Ampliação ETAR Faro Noroeste.pdf*. (43054FN-PB-MD-PRO-0001 -A- MDJ Processo).
- Bdour, A. N., Hamdi, M. R., & Tarawneh, Z. (2009). Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region. *Desalination*, 237(1), 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.12.030>
- Bixio, D., Thoeye, C., De Koning, J., & Joksimovic, D. (2006). Wastewater reuse in Europe. *Desalination*, 187, 89–101. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.070>
- Chartzoulakis, K., & Bertaki, M. (2015). Sustainable Water Management in Agriculture under Climate Change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.011>
- Chojnacka, K., Kowalski, Z., Kulczycka, J., & Dmytryk, A. (2019). Carbon footprint of fertilizer technologies. *Journal of Environmental Management*, 231(Elsevier), 962–967. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.108>
- Comissão Europeia. Directiva 91/271/CEE., Pub. L. No. 31991L0271, OJ L 135 (1991).
- Costa, A. & Fernandes, R. (1996). Extracção de micronutrientes catiões do solo através de métodos de avaliação da sua biodisponibilidade. Estudo comparativo de 4 métodos. In: Actas da 6ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente. Aveiro, Portugal, Universidade de Aveiro.
- Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de Junho. Diário da República nº 139/97 - I Série A. Ministério do Ambiente. Lisboa.
- Decreto-Lei nº 236/98 de 01 de Agosto. Diário da República nº 176/98 - I Série A. Ministério do Ambiente. Lisboa.
- Directiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de maio de 1991, relativa ao tratamento de águas residuais urbanas.

- Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve (DRAALG) (2019). Agrometeorologia (informação atual e séries anuais registados nas EMA). Obtido 30 de Setembro de 2019, de [http://www.drapalg.min-agricultura.pt/index.php?option=com\\_wrapper&Itemid=43](http://www.drapalg.min-agricultura.pt/index.php?option=com_wrapper&Itemid=43)
- European Parliament. *Proposta de Regulamento: Requisitos mínimos para a reutilização da água residual tratada.*, Pub. L. No. COM(2018) 337 final (2018).
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2015). Consumo de água anual per capita 2015. Obtido 25 de Janeiro de 2019, de Maps and spatial data website: <http://www.fao.org/nr/water/aquamaps/>
- Fawell, J., Le Corre, K., & Jeffrey, P. (2016). Common or independent? The debate over regulations and standards for water reuse in Europe. *International Journal of Water Resources Development*, 32(4), 559–572. <https://doi.org/10.1080/07900627.2016.1138399>
- Google Maps. (2019, Janeiro 18). ETAR de Faro Noroeste [Google Maps]. Obtido 18 de Janeiro de 2019, de ETAR de Faro Noroeste website: <https://www.google.com/maps/@37.0182392,-7.9618776,593m/data=!3m1!1e3>
- Grandunion. (2019). Origem da Energia—Particulares | EDP. Obtido 20 de Setembro de 2019, de edp—Eletricidade e gás no mercado livre website: <https://www.edp.pt/origem-energia/>
- Hartley, T. W. (2006). Public perception and participation in water reuse. *Desalination*, 187(1), 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.072>
- Libutti, A., Gatta, G., Gagliardi, A., & Vergine, P. (2018). Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions | Elsevier Enhanced Reader. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.015>
- Mo, W., & Zhang, Q. (2012). Can municipal wastewater treatment systems be carbon neutral? *Journal of Environmental Management*, 112, 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.014>
- Mohammadshirazi, A., Akram, A., Rafiee, S., & Bagheri Kalhor, E. (2015). On the study of energy and cost analyses of orange production in Mazandaran province. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 10, 22–22–28. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2015.01.007>
- Molden, D. (Ed.). (2007). *Water for food water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture*. Earthscan, London.

- Nunes, J. P., Morais, I., & Dias, L. (2019). *Plano Intermunicipal—Adaptação as alterações climáticas do Algarve* (p. 264) [Relatório Setorial]. Obtido de AMAL – Comunidade Intermunicipal do Algarve website: <http://amal.pt/atividades/alteracoes-climaticas/alteracoes-climaticas-algarve>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2019). Water Use and Sanitation. *Our World in Data*. Obtido de <https://ourworldindata.org/water-use-sanitation>
- Rodier, J; Legube, B; Merlet, N. (2016). *L'analyse de l'eau, Controlê e Interprétation*, LAE. 10<sup>e</sup>., Dunod, Malakoff.
- 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>
- Saliba, R., Callieris, R., D'Agostino, D., Roma, R., & Scardigno, A. (2018). Stakeholders' attitude towards the reuse of treated wastewater for irrigation in Mediterranean agriculture. *Agricultural Water Management*, 204, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.036>
- Schwarzenbach, R. P., Egli, T., Hofstetter, T. B., von Gunten, U., & Wehrli, B. (2010). Global Water Pollution and Human Health. *Annual Review of Environment and Resources*, 35(1), 109–136. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125342>
- Sillanpää, M. (1982). Micronutrients and the nutrient status of soil: a global study. FAO soils bulletin n°48. Werner Söderström Osakeyhtiö, Finland.
- Singh, P., & Kansal, A. (2018). Energy and GHG accounting for wastewater infrastructure. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 499–507. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.07.014>
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (2005). 21<sup>st</sup> Edition, Amer Public Health Assn.
- The World Bank. (2018). “*Water Scarce Cities: Thriving in a Finite World—Full Report.*” (N. 125187; pp. 1–65). Obtido de The World Bank website: <http://documents.worldbank.org/curated/en/281071523547385102/Water-Scarce-Cities-Thriving-in-a-Finite-World>

- The World Bank. (2019). Annual freshwater withdrawals, agriculture. Obtido 25 de Janeiro de 2019, de Annual freshwater withdrawals, agriculture (% of total freshwater withdrawal) website: <https://data.worldbank.org/indicator/er.h2o.fwag.zs>; <https://datawrapper.dwcdn.net/Fieue/2/>
- United Nations. (2019). Water and Sanitation [UN]. Obtido 25 de Janeiro de 2019, de United Nations Sustainable Development website: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>
- Varenes, A. (2003). *Produtividade dos Solos e Ambiente* (1ª edição). Lisboa: Escolar Editora.
- World Health Organization. (2016). *Planeamento de Segurança do Saneamento: Manual Para o Uso e Eliminação Segura de Águas Residuais, Águas Cinzentas e Dejetos*.
- World Health Organization, & United Nations International Children's Emergency Fund. (2017). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines*.
- Xi, X., & Poh, K. L. (2013). Using System Dynamics for Sustainable Water Resources Management in Singapore. *Procedia Computer Science*, 16, 157–166.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.01.017>