

Marília de Jesus Patinha Marques Serol

**Reutilização de Águas Residuais Urbanas para Usos  
Não Potáveis no Concelho de Évora**



**UAAlg**

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

**Instituto Superior de Engenharia**

**2021**

Marília de Jesus Patinha Marques Serol

**Reutilização de Águas Residuais Urbanas para  
Usos Não Potáveis no Concelho de Évora**

**Mestrado em Ciclo Urbano da Água**

**Trabalho realizado sob a orientação de:**

Doutora Anabela Rebelo – Agência Portuguesa do Ambiente

Professora Doutora Manuela Moreira da Silva – UAlg/ISE



**UAlg**

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

**Instituto Superior de Engenharia**

**2021**

# **Reutilização de Águas Residuais Urbanas para Usos Não Potáveis no Concelho de Évora**

Declaração de Autoria do Trabalho

"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."

Marília de Jesus Patinha Marques Serol

Copyright ©: Marília de Jesus Patinha Marques Serol

“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 pelos ensinamentos e também aos meus irmãos pelo incentivo em todas as fases da minha vida.

Ao meu marido pela força, bom humor, despreendimento e apoio incondicional ao embarcar comigo nesta aventura, acompanhando e partilhando os bons momentos e dando os suportes racional e emocional nos momentos difíceis. À Inês a minha filha, por ter sido paciente e ser a luz das nossas vidas.

Aos professores que ao longo deste período contribuíram para que esta Dissertação fosse realizada e aos meus colegas e já amigos do Mestrado em Ciclo Urbano da Água, que ajudaram direta e indiretamente neste caminho.

À minha orientadora Professora Doutora Manuela Moreira da Silva por todos os ensinamentos dados ao longo deste percurso e pela aposta neste tema e à minha coorientadora Doutora Anabela Rebelo pela forma despreendida e entusiasmante como compartilha os seus conhecimentos profissionais.

## **Resumo**

A crescente procura de água para diversos fins tem aumentado a pressão sobre os recursos hídricos naturais. A intensificação do desenvolvimento urbano, agricultura e das alterações climáticas, têm coincidido com períodos de seca e com episódios de escassez cada vez mais frequentes. A vulnerabilidade que Portugal enfrenta na gestão da água, tem evidenciado a necessidade de se encontrarem origens alternativas sobretudo para usos não potáveis. Neste sentido a produção de água para reutilização surge como uma alternativa viável que merece ser melhor estudada, para poder ser implementada sem pôr em causa o ambiente e a saúde pública.

Este trabalho pretendeu avaliar a viabilidade da utilização de água residual proveniente da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Évora como origem de água alternativa para usos não potáveis na área circundante. A metodologia adotada suportou-se na proximidade entre a produção de água para reutilização e usos, na perspetiva de alívio da pressão sobre os ecossistemas aquáticos naturais, para garantir a preservação de habitats e da biodiversidade.

Caracterizou-se a cidade de Évora, a ETAR e os usos do solo num raio de 2,5 km. Os dados do efluente tratado num histórico de quatro anos foram compilados sendo os parâmetros analisados qualitativa e quantitativamente. A avaliação dos possíveis usos de água para reutilização foi efetuada através da correlação entre a qualidade dos efluentes tratados (com o nível de tratamento atual) e as condicionantes legais aplicadas a cada tipo de uso, descritas no Decreto-Lei 119/2019, 21 de agosto. Fez-se a integração da qualidade do efluente tratado com os possíveis usos tendo o parâmetro coliformes fecais sido o fator limitante a alguns destes. Com a utilização de multibarreiras (barreiras-equivalentes) definiram-se sinergias tendo-se verificado a compatibilidade com rega agrícola, usos urbanos e industriais. Finalmente, efetuou-se uma análise quantitativa com ênfase na rega da cultura com maior exigência de dotação, tendo-se concluído que os volumes de efluentes são suficientes para satisfazer as necessidades no espaço territorial estudado, sendo o seu uso adequado para fazer face à escassez.

*Palavras-Chave:* Água para Reutilização, Águas residuais urbanas, Usos não potáveis, Multibarreiras, Évora

## **Abstract**

The increasing demand for water for multiple purposes has raised the pressure over natural water resources. The growing of urban development, agriculture and climate change have been coincident with periods of drought and with even more frequent water shortage events. The vulnerability that Portugal faces in terms of water management has highlighted the need to find alternative sources, in particular for non-potable uses. Therefore, the production of reclaimed water appears as a viable alternative that deserves to be deepened, to be applied without jeopardizing the environment and public health.

This work aimed to appraise the feasibility of using the treated effluent, from the Évora Wastewater Treatment Plant (WWTP), as a possible source for non-potable water uses in the surrounding area. The adopted methodology was supported on the nearby distances between the reclaimed water production and respective uses, in order to promote the reduction of pressure on the natural aquatic ecosystems, to ensure the habitats protection and the biodiversity.

The city of Évora, its WWTP and land uses within a radius of 2.5 km were characterized. The four years data about the treated effluent were collected, including quantitative and qualitative parameters.

The assessment of possible uses of reclaimed waters was made through the correlation between the treated effluents quality (at the current treatment level) and the legal conditions applied to each use type, described in the Decree-Law 119/2019, 21st August. Was performed the integration of the effluent quality with the possible uses and the parameter fecal coliform was the limiting factor for some of these. With the use of multibarriers (equivalent-barriers), synergies were defined and compatibility with agriculture irrigation, urban and industrial uses was observed. Finally, a quantitative assessment was carried out with emphasis on the irrigation of the crop with highest demand, having been concluded that the effluent volumes were sufficient to meet the needs in the studied area, being its use appropriate to face shortages.

*Keywords:* Reclaimed water, urban wastewater, Non-potable uses, Multibarrier, Évora

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<i>i</i>
<b>Resumo</b> .....	<i>ii</i>
<b>Abstract</b> .....	<i>iii</i>
<b>I. Introdução</b> .....	<i>1</i>
<b>I.1. Escassez de Água</b> .....	<i>3</i>
<b>I.1.1. Escassez de Água às Escalas Global e Local</b> .....	<i>4</i>
<b>I.1.2. Origens Alternativas</b> .....	<i>6</i>
<b>I.2. Reutilização de Água</b> .....	<i>6</i>
<b>I.2.1. Importância da Reutilização e Legislação Aplicável</b> .....	<i>8</i>
<b>I.2.2. Reutilização de Água na Agricultura</b> .....	<i>13</i>
<b>I.2.3. Reutilização de Água na Indústria</b> .....	<i>13</i>
<b>I.2.4. Reutilização de Água em Usos Urbanos Não Potáveis</b> .....	<i>14</i>
<b>I.3. Caso de Estudo – Reutilização de Água no Concelho de Évora</b> .....	<i>15</i>
<b>I.3.1. Água e Socioeconomia no Concelho de Évora</b> .....	<i>15</i>
<b>I.3.2. Caracterização das ETAR existentes no concelho de Évora</b> .....	<i>23</i>
<b>I.3.3. Caracterização da ETAR de Évora</b> .....	<i>27</i>
<b>I.3.3. Usos da Água na Envolvente da ETAR de Évora</b> .....	<i>31</i>
<b>I.4. Objetivos</b> .....	<i>32</i>
<b>II. Metodologia</b> .....	<i>32</i>
<b>II.1. Aquisição da Informação</b> .....	<i>32</i>
<b>II.2. Análise e Tratamento de Dados</b> .....	<i>33</i>
<b>II.2.1. Caracterização do Efluente Tratado pela ETAR</b> .....	<i>33</i>
<b>II.2.1.1. Quantidade de Efluente Tratado</b> .....	<i>33</i>
<b>II.2.1.2. Qualidade do Efluente Tratado</b> .....	<i>33</i>
<b>II.2.2. Caracterização da Procura de Água na Área Envolvente à ETAR</b> .....	<i>34</i>
<b>III. Análise e Discussão dos Resultados</b> .....	<i>35</i>
<b>III.1. Quantidade de Efluente Tratado</b> .....	<i>35</i>
<b>III.2. Qualidade do Efluente Tratado</b> .....	<i>38</i>
<b>III.2.1 Nutrientes - Azoto Total e Fósforo Total</b> .....	<i>39</i>
<b>III.2.2 Carência Química de Oxigénio e Carência Bioquímica de Oxigénio Nutrientes - Azoto Total e Fósforo Total</b> .....	<i>41</i>
<b>III.2.3 Sólidos Suspensos Totais</b> .....	<i>43</i>
<b>III.2.4 Metais – Cobre, Crómio e Níquel</b> .....	<i>43</i>
<b>III.2.5 pH</b> .....	<i>45</i>
<b>III.2.6 Ovos de Parasitas Intestinais e Coliformes Fecais</b> .....	<i>45</i>

III.3 Usos do Solo na Envolvente da ETAR de Évora .....	47
III.4 Utilização do Efluente Tratado na ETAR de Évora como ApR.....	49
III.4.1 Rega (agricultura e espaços verdes) .....	49
III.4.2 Usos urbanos .....	51
III.5 Avaliação do risco .....	54
III.6 Quantidade da ApR e dotação das culturas .....	58
<i>IV. Considerações Finais e Perspetivas Futuras.....</i>	<i>59</i>
<i>V. Referências Bibliográficas .....</i>	<i>61</i>

## I. Introdução

Para além da evolução demográfica e dos atuais padrões de consumo, as alterações climáticas, sobretudo em regiões como o Mediterrâneo, transformam a gestão da água num desafio muito complexo. A alteração dos padrões climáticos, com maior frequência de eventos extremos, tanto períodos de seca como episódios de precipitação extrema, acarretam efeitos negativos imediatos em termos humanos e materiais, mas também na disponibilidade e na qualidade da água, bem como no funcionamento dos ecossistemas aquáticos. Estes cenários extremos conduzem a uma imprevisibilidade da disponibilidade de água, e agravam a sua escassez. Na escassez de água inclui-se défice hídrico para alguns usos, mas também outros componentes relevantes, tais como a deterioração da qualidade das massas de água, o desequilíbrio entre a disponibilidade e a procura de água, a concorrência entre setores, e mesmo entre países transfronteiriços (Lazarova *et al.*, 2013).

Em regiões como o Alentejo, onde com variabilidade natural do clima, já ocorrem situações de escassez de água, são ainda mais preocupantes, as projeções dos modelos climáticos que apontam para uma elevada diminuição da precipitação e um aumento da temperatura atmosférica (Portela *et al.*, 2011). Estudos indicam que esta tendência de mudança acarretará graves consequências para os recursos hídricos naturais (Mourato, 2009). Assim sendo, é necessário desenvolverem-se medidas de adaptação às alterações climáticas, que passem pela inovação e eficiência, quer na gestão da disponibilidade da água, integrando as origens tradicionais (águas superficiais e águas subterrâneas) com origens alternativas (ex. água para reutilização - ApR), quer na eficiência dos seus diversos usos.

O consumo crescente de água para múltiplos fins, tais como o abastecimento público, a produção agrícola e pecuária, indústria, usos recreativos, entre outros, tem vindo a impor uma pressão gradual sobre os recursos hídricos (Rebelo *et al.*, 2020). Por outro lado, esta pressão pode ser variável ao longo do ano, em função da variação sazonal da procura de água, e pode ser potencialmente agravada perante cenários de alterações climáticas, onde as situações de seca prolongada poderão vir a ser mais frequentes. São cada vez mais frequentes, casos de elevadas necessidades, conjugados com fraca ou mesmo ausência de pluviosidade, e elevada evapotranspiração, com situações de desequilíbrio e escassez de água. Têm sido apresentados cenários para o período 2070-2100, que projetam uma diminuição da precipitação total acumulada anual para o Alentejo de cerca de 20 %, ou seja de 630 mm para 519 mm, e em particular para o Baixo Alentejo, de 500 mm para 400 mm. Estas circunstâncias terão certamente efeitos no balanço hidrológico da bacia hidrográfica, e eventualmente alterações nas

condições de fornecimento público de água (Vizinho *et al.*, 2021; Santos & Portela, 2007). Para além do que anteriormente já se referiu, o Alentejo apresenta um clima temperado com Verão quente e seco, com irregularidade pluviométrica, e uma precipitação média anual inferior a 600 mm (PORDATA, 2021), e portanto, torna-se cada vez mais premente a necessidade de se viabilizarem origens alternativas de água. A reutilização da água é uma opção que se tem vindo a revelar eficaz, com muitos exemplos de sucesso a nível mundial. Permite reduzir o consumo de água tratada para consumo humano, aliviar a pressão sobre os recursos hídricos, minimizando impactes ambientais e consumos energéticos, bem como os encargos financeiros envolvidos na gestão da água (Takeuchi & Tanaka, 2020).

A reutilização de água contribui para o uso sustentável dos recursos hídricos, na medida em que permite a manutenção de água no ambiente para suportar os habitats aquáticos e a biodiversidade, preservando usos futuros, mas salvaguarda a utilização presente. A utilização de águas residuais tratadas tem sido considerada uma fonte de água alternativa apropriada para várias utilizações, por exemplo, irrigação, utilização urbana e industrial, descarga de sanitários, etc., uma vez que poderia apresentar uma prática primordial para a proteção das massas de água, nomeadamente sobre um cenário de alterações climáticas, equilibrando a aumento da procura de água (Rebelo *et al.*, 2016). As zonas urbanas produzem grandes quantidades de efluentes, que sendo devidamente tratados, poderão ter níveis de qualidade ajustados a determinados usos (sobretudo não potáveis). Podem ainda ser utilizadas barreiras múltiplas, para se reduzir os riscos associados à utilização desses efluentes tratados, garantindo assim que a ApR não constitui um risco para a saúde pública nem para o ambiente. Com o presente estudo, pretende-se contribuir para aumentar o conhecimento no município de Évora, relativamente às possibilidades de reutilização de água residual urbana para usos não potáveis. Será caracterizada a ETAR de Évora, caracterizados os respetivos efluentes tratados (quantidade e qualidade), bem como a procura de água para usos não potáveis nas respetivas zonas envolventes. Será feita a análise da qualidade passível de ser produzida nas ETAR e a integração da mesma com possíveis barreiras, incluindo o conceito de barreira equivalente, com vista à adequação aos usos na proximidade da ETAR, numa perspetiva de análise *fit-for-purpose*, i.e., uma água com qualidade adequada ao fim a que se destina e segura para a saúde humana e ambiente. Uma barreira equivalente é a medida de controlo que produz um resultado equivalente a uma determinada redução microbiológica correspondente à eliminação de perigo determinado ou redução do mesmo até um nível aceitável.

## I.1. Escassez de Água

A escassez de recursos hídricos em zonas áridas e semiáridas é um problema grave para as pessoas que aí vivem, como é frequentemente nas regiões mediterrânicas, onde um crescimento populacional crescente, acompanhado de maior frequência na ocorrência de eventos climáticos extremos, estão a levar à escassez ou deterioração irreversível dos recursos hídricos (Mekonnen & Hoekstra, 2016). Assim, a reutilização das águas residuais urbanas está a emergir como uma fonte adicional de água, que deve ser tida em consideração para a gestão integrada dos recursos hídricos, juntamente com outras medidas clássicas, tais como transvases entre bacias, a construção de reservatórios para regularizar os recursos de superfície e outras medidas mais inovadoras tecnologicamente com um custo económico mais elevado, tais como a dessalinização da água do mar.

As águas residuais das atividades humana e industrial podem ser consideradas como um produto de risco contendo microrganismos aeróbicos e anaeróbicos, orgânicos e inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão. Para além da carga orgânica, o uso doméstico contribui com substâncias minerais, que em alguns casos podem acrescentar valor fertilizante e noutros podem acrescentar carga tóxica limitadora para a sua possível reutilização (metais como o Cd, Hg ou Zn) (Guppy *et al.*, 2017; Moreira da Silva *et al.*, 2021).

Se houver suficiente disponibilidade de água doce de boa qualidade, a ideia primária é rejeitar as águas residuais depois tratadas descarregando-as para um meio recetor que pode ser um rio ou linha de água, o mar, o solo, etc. Na gestão dos recursos hídricos seria um luxo não considerar a possibilidade de as reutilizar (Voulvoulis, 2018).

Em ambas as situações será essencial proceder ao tratamento adequado das águas para evitar repercussões indesejáveis sobre o ambiente e a saúde pública. Por este motivo os tratamentos a efetuar são preconizados em função da origem da carga poluente, da sensibilidade ambiental do meio recetor no caso da rejeição ou da finalidade da utilização a que se destinam no caso de utilização posterior (reutilização).

### I.1.1. Escassez de Água às Escalas Global e Local

A escassez de água está entre os principais problemas a enfrentar por muitas sociedades na atual realidade do século XXI. É causada pelo desequilíbrio entre a disponibilidade natural de água e a sua procura para as diversas atividades humanas. Mesmo que haja água doce suficiente no planeta, ela está distribuída de forma geograficamente desigual, uma grande parte está poluída e a outra é utilizada de forma insustentável, com enormes desperdícios (UNESCO World Water Assessment Programme, 2020).

O acesso à água e a gestão da sua distribuição foi uma das grandes conquistas da Humanidade. Citando o Professor David Sedlack, no seu livro “Water 4.0”, chama o momento Water 1.0 e marca-o há 3.000 anos, com as primeiras infraestruturas criadas pelos romanos para fazer chegar água às suas cidades. O segundo grande progresso dá-se com o tratamento da água para poder ser bebida em segurança pela população – é o Water 2.0, uma conquista do séc. XIX. Já no século XX, a conquista do saneamento básico marca o Water 3.0, estabelecendo-se uma preocupação em proteger o ecossistema. E o Water 4.0, o estágio mais avançado das conquistas sobre a água define-se pela inovação tecnológica, pelo progresso que os cientistas estão a trazer à manipulação e otimização da água, enquanto recurso para a vida e para o desenvolvimento socioeconómico (Sedlak, David, 2014).

Nos últimos 50 anos, a população mundial duplicou, e cada pessoa consome em média, 5 vezes mais água do que em 1970. Cerca de metade da população mundial durante um mês por ano, não tem água suficiente para as suas necessidades (Mekonnen & Hoekstra, 2016) e um quarto, não tem acesso a água potável (UNICEF & WHO, 2019).

O acentuado crescimento populacional em linha com as alterações climáticas, torna cada vez mais difícil o acesso às quantidades necessárias de água e com qualidade adequada aos múltiplos fins. Os usos excessivos e descontrolados da mesma têm aumentado consideravelmente. No século XX a população triplicou, mas o consumo de água aumentou seis vezes mais (Goleman *et al.*, 2019; Guppy *et al.*, 2017).

Com muitas realidades urbanas a aproximarem-se dos limites da disponibilidade de água nas origens convencionais (águas superficiais e subterrâneas), a reutilização da água tornou-se uma opção para se obter a água necessária aos diversos usos, nomeadamente aos que não requerem água potável. Esta solução pode funcionar como uma origem de água, para ajudar a satisfazer algumas necessidades presentes e futuras, protegendo-se os ecossistemas não só através da diminuição da captação de água doce, mas também da redução da rejeição de efluentes tratados,

com elevadas concentrações de nutrientes e de outros poluentes, muitas vezes tóxicos (Asano, 2007).

A proteção dos recursos hídricos naturais e a gestão integrada da sua utilização é fundamental para a diminuição dos conflitos nas atividades econômicas, na produção e segurança dos alimentos, na indústria, na produção de energia e nos transportes. No entanto, estas atividades são normalmente passíveis de contaminar a água, e cerca de 2 milhões de toneladas de resíduos humanos são libertados todos os dias nos cursos de água. Entre 15 e 18 mil milhões de m<sup>3</sup> de água doce são contaminados, por combustíveis fósseis, todos os anos. O setor da alimentação contribui com cerca de 40 a 54% dos poluentes orgânicos da água. Cerca de 1/3 de todos os rios enfrenta uma grave poluição patogénica, e 1/7 uma grave poluição orgânica (Guppy *et al.*, 2017).

Segundo o Global Risk Report do Fórum Económico Mundial, a escassez de água é um dos principais riscos a nível mundial. Se não houver mudanças na gestão deste recurso, prevê-se um corte de 40% na distribuição de água mundial até 2030 (Voulvoulis, 2018).

Está previsto que até 2050, o uso de água aumente 400% na indústria e 130% no uso doméstico (Guppy *et al.*, 2017). A água utilizada para rega e produção de alimentos é um dos usos que mais água doce consome. A agricultura representa cerca de 70% na utilização deste recurso hídrico, podendo mesmo chegar aos 90% em regiões de rápido crescimento económico. A indústria é também uma das grandes utilizadoras de água, estando entre os 10% na Ásia e os 57% na Europa, no total de água consumida (Voulvoulis, 2018).

Prevê-se que nas próximas décadas a procura global de água nos setores industriais, domésticos e agrícolas terá um aumento entre 20 e 33%. A agricultura continuará a destacar-se enquanto setor onde a procura de água é maior (UNESCO World Water Assessment Programme, 2019).

A escassez de água é um problema de dimensão ambiental e económica, uma vez que pode constituir um sério entrave ao desenvolvimento, aumentando a instabilidade social provocando graves conflitos de usos nas diversas realidades geográficas, frequentemente entre países diferentes. As Nações Unidas têm identificados 300 situações concretas de potenciais conflitos para os próximos anos, devido à escassez de água. As tensões são mais graves nos países em desenvolvimento, onde os recursos hídricos se encontram mais poluídos e onde os desperdícios de água são mais acentuados. Há ainda a questão da gestão das bacias transfronteiriças, 261 dos grandes rios no planeta atravessarem territórios de dois ou mais países, sem que haja acordos que regulem o uso da água, potenciando conflitos internacionais por um bem indispensável e em certas situações muito escasso (Cirilo, 2015). É fundamental que existam políticas

governamentais que permitam definir metas concretas e prazos para que se cumpram, cada período de inação implicará um esforço de compensação exponencialmente maior (Guppy *et al.*, 2017).

### I.1.2. Origens Alternativas

À medida que a utilização de água doce se torna mais limitada e o desenvolvimento económico está relacionado com a procura desta água as tecnologias como a dessalinização e a reutilização da água são frequentemente reconhecidas como soluções com um grande potencial na redução do fosso entre a disponibilidade e a procura (Voulvoulis, 2018).

Contrastando com outras origens alternativas de água, como a dessalinização de água do mar ou a construção de novas barragens para retenção de águas superficiais da rede hidrográfica e pluviais, a criação de estruturas de retenção para coleta de água das chuvas (stormwater), a reutilização de água requer menores custos de investimento e energia. Contribui ainda para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, possibilita o desenvolvimento de projetos que possam afetar as disponibilidades hídricas, e por fim reduz os efeitos de escassez e secas (APA, 2019).

### I.2. Reutilização de Água

A reutilização da água não é uma técnica ou conceito novo, a utilização de águas residuais tem sido desenvolvida e tem evoluído ao longo da história da humanidade (Angelakis *et al.*, 2018). Desde o início da Idade do Bronze (3200 aC - 1100 aC), as águas residuais domésticas têm sido utilizadas para rega na agricultura por várias civilizações, como na China, Egipto, Vale do Indo, Mesopotâmia e Creta. Apesar de em tempos históricos (1000 aC - 330 dC), as civilizações Grega e Romana, utilizavam as águas residuais para rega e fertilização agrícola, especialmente em áreas circundantes às grandes cidades, como Atenas e Roma (Angelakis *et al.*, 2018), já na Era Moderna, após a existência de sistemas de drenagem e tratamento de efluentes urbanos, só há cerca de três décadas a utilização de águas residuais tratadas passou a desempenhar um papel relevante na gestão integrada dos recursos hídricos a nível mundial. A água residual tratada começou a ser encarada, como uma origem adicional, alternativa e viável de água, para inúmeras utilizações nos diversos ambientes. O facto desta origem de água ser assegurada pela existência permanente de efluentes urbanos, drenados e tratados, é um aspeto relevante,

particularmente no contexto de incerteza, que caracteriza todas as previsões dos modelos climáticos atuais (Lazarova *et al.*, 2013).

A reutilização da água deve ser devidamente integrada no conceito de gestão sustentável dos recursos hídricos, atendendo às diversas origens disponíveis e aos diversos usos que condicionam a procura da água, em cada realidade geográfica. A disponibilidade de água para reutilização é fortemente condicionada pela disponibilidade de tecnologias eficientes e fiáveis. Estas têm dependido de políticas e de financiamentos, para se implementar e modernizar ETAR e estratégias de gestão adequadas, integrando questões técnicas, económicas, ambientais e sociais. Para além das questões tecnológicas do tratamento dos efluentes urbanos, várias outras se colocam. A segurança e análise dos riscos associados à utilização dos efluentes tratados, os direitos e condições económicas da água para reutilização, e a perceção e aceitação do público, são questões ainda a otimizar (Asano, 2007; Lazarova *et al.*, 2013).

A reutilização de água tem vindo a crescer, existindo atualmente vários casos de sucesso distribuídos pelos cinco continentes, e.g. usos urbanos (Sydney, Austrália, Califórnia e Florida, USA), usos potáveis indiretos (Singapura, Malaheni, África do Sul), rega agrícola (Argentina, Israel, Espanha, Chipre, Austrália), suporte de ecossistemas (Algarve, Portugal), usos industriais (México e Alemanha), usos recreativos (Tóquio, Japão; Pequim, China), recarga de aquíferos (Malta, Califórnia, EUA), entre outros (Takeuchi & Tanaka, 2020; Lazarova *et al.*, 2013; Takeuchi & Tanaka, 2020). Em muitas cidades, como Pequim, Madrid, Tianjin ou Tóquio, a água reutilizada é atualmente, considerada uma origem importante na gestão integrada dos recursos hídricos, tornando possível fechar o ciclo urbano da água e preservar os recursos hídricos naturais e a biodiversidade (Lazarova *et al.*, 2013; Angelakis & Snyder, 2015).

Os cidadãos Europeus beneficiam de algumas das normas ambientais mais exigentes. A União Europeia (UE) e os governos nacionais estabeleceram objetivos claros para orientar a política ambiental europeia com uma visão a longo prazo, que define qual deverá ser a nossa situação em 2050 (European Commission, 2020).

A utilização de águas residuais tratadas é praticada comumente e com sucesso em vários Estados-Membros da UE, nomeadamente em Chipre, Malta, Espanha, Itália e noutros locais, onde se destacam Israel, Califórnia, Austrália e Singapura. No entanto, esta prática está abaixo do seu potencial na UE. Para melhorar a situação, a Comissão Europeia propôs em 2018 um regulamento para impulsionar a reutilização da água, quando é rentável e segura para a saúde e o ambiente (European Commission, 2020). Por esse mesmo motivo promoveu-se o desenvolvimento do Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto que estabelece o regime jurídico

de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais de diversas origens, bem como da sua utilização para múltiplos fins, e ainda o Regulamento 2020/741/CE, de 25 de maio, relativo aos requisitos mínimos para a reutilização da água para rega agrícola, produzida a partir de águas residuais urbanas tratadas (Diário da República, 2019; European Commission, 2020; Parlamento Europeu, 2020).

Políticas de economia circular contribuirão para uma visão integrada nas relações entre mercados, utilizadores e recursos hídricos naturais, promovendo a sustentabilidade no uso da água. O uso eficiente e a integração de origens de água alternativas são aspetos cruciais, permitindo o crescimento económico e o suprimento das necessidades das pessoas, mas reduzindo a pressão sobre os recursos hídricos naturais. A transição para a economia circular irá encorajar o uso eficiente da água e deverá estimular a inovação tecnológica, de forma a melhorar a resiliência da economia a eventuais desequilíbrios entre disponibilidade e procura da água (Brears, 2020; Kearney *et al.*, 2014).

A reutilização da água no suporte à economia circular é uma das cinco tendências na indústria da água da próxima década. Na rejeição de água residual tratada é desperdiçado um elevado número de recursos de valor, tais como, azoto, fósforo, energia e outros nutrientes que podem ser usados numa economia circular de forma a diminuir a pressão sobre os recursos naturais (Saidan *et al.*, 2020; Wennberg, 2020). Para que tal seja possível, a utilização da água residual tratada terá de enfrentar alguns obstáculos que vão desde a perceção do público até aos desafios quanto ao preço, tecnologia, segurança e regulamentação. Contudo têm surgido algumas estratégias geográficas e setoriais que sustentam a economia circular, com potencial para ultrapassar a maioria destes constrangimentos (Brears, 2020; Kearney *et al.*, 2014).

### I.2.1. Importância da Reutilização e Legislação Aplicável

Os recursos hídricos naturais para além de serem fundamentais para a sobrevivência humana e essenciais para o desenvolvimento económico, têm uma importância vital para a sustentabilidade dos ecossistemas. Estes não conseguem sobreviver sem fornecimento de água. No entanto, sempre que os recursos hídricos naturais superficiais ou subterrâneos são utilizados de forma antrópica, há um impacto associado quer à captação quer ao seu uso (Voulvoulis, 2018).

A captação de águas doces (superficiais ou subterrâneas) para a maior parte das utilizações (agricultura, indústria, produção de hidrogénio) não deverá constituir uma opção, uma vez que

as situações de desequilíbrio entre as necessidades de água versus as disponibilidades hídricas provocam já sérios problemas de escassez, observadas a nível nacional, e que são agudizadas em períodos de seca, cada vez mais recorrentes devido às alterações climáticas, e com maior incidência nas regiões do Alentejo e do Algarve. Neste contexto, a reutilização de águas assume cada vez maior importância devendo ser uma alternativa a considerar previamente ao licenciamento das utilizações dos recursos hídricos naturais uma vez que este atenderá necessariamente ao estado das massas de água, aos usos existentes licenciados, aos usos futuros prioritários, bem como à manutenção dos caudais ecológicos que permitam o atingir ou o manter os objetivos ambientais definidos na Diretiva Quadro da Água (DQA) e na Lei da Água (APA, 2021).

Quando se reutiliza água, os recursos hídricos naturais são conservados para outros usos prioritários tal como o abastecimento público. Trata-se de um benefício incontornável uma vez que a reutilização de água é propício à salvaguarda dos recursos naturais.

As múltiplas situações de escassez de água e de episódios de seca na União Europeia levaram a Comissão Europeia a produzir uma Comunicação onde a utilização de águas residuais tratadas foi considerada como uma eventual origem alternativa de água. Também no âmbito do programa *Uma Matriz Destinada a Preservar os Recursos Hídricos da Europa* identificou-se a reutilização de água como uma prioridade na gestão dos recursos hídricos (European Commission, 2012). Mais recentemente, no âmbito do Plano de Ação para a Economia Circular, foi referido que adicionalmente às medidas para o uso eficiente da água, a reutilização, seria uma forma segura e eficaz em termos de custos, apesar de ainda pouco implementada. Na altura, foi identificado como principal obstáculo, a ausência de normativos legais comuns, relativos à qualidade e segurança da água para reutilização (Rebelo & Franco, 2019; Rebelo *et al.*, 2020). Neste sentido, a Comissão Europeia propôs em 2018, um regulamento formalmente adotado em 2020, para impulsionar a reutilização da água para rega agrícola, a partir de águas residuais urbanas tratadas, quando for rentável e seguro para a saúde e para o ambiente (European Commission, 2020). Paralelamente em Portugal foi publicado Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto, que estabelece o regime jurídico de produção de Água para Reutilização (ApR), obtida a partir do tratamento de águas residuais de qualquer origem, bem como da sua utilização em qualquer fim. O Regulamento 2020/741/CE, de 25 de maio, relativo aos requisitos mínimos para a reutilização da água para rega agrícola a partir de águas residuais urbanas tratadas foi publicado em 5 de junho de 2020, e será diretamente aplicável a todos os Estados membros a partir de 26 de junho de 2023 (Diário da República, 2019); (Parlamento Europeu, 2020). Deste

modo, em Portugal ambos os diplomas se complementam, havendo desde agosto de 2019 um regime jurídico que permite definir normas seguras para a utilização de águas residuais tratadas de qualquer origem para múltiplos fins.

Assim, como se demonstrou, a reutilização de água engloba múltiplos e complexos aspetos, o que levou a que o seu conceito fosse definido pela Organização Internacional de Normalização (ISO), como água residual que foi sujeita ao tratamento necessário para alcançar uma qualidade compatível para usos benéficos, i.e., usos que apresentam vantagens gerais que incluem a saúde ambiental e bem-estar para promoção da sustentabilidade (*ISO 20670:2018, Water Reuse – Vocabulary, International Organization for Standardization, 2018*).

Tratar águas residuais para as tornar disponíveis para usos não potáveis, é uma solução importante para a escassez de água, mas pode representar riscos à saúde e ao meio ambiente, se a qualidade da água e os métodos de tratamento não forem os apropriados. A ISO tem uma série de normas para facilitar essa prática, com segurança e eficácia, e algumas foram recentemente atualizados para serem mais úteis na atualidade, como é o caso da ISO 16075-1 - Guia de utilização de águas residuais tratadas em projetos de rega com a Parte 1: A base de um projeto de reutilização em rega, e com a Parte 2: Desenvolvimento do projeto, que poderá ajudar a maximizar os benefícios e reduzir quaisquer riscos relacionados ocorridos em sistemas de rega agrícola.

Estas orientações definem os fatores a ter em consideração nesses projetos, nomeadamente os procedimentos necessários para a definição de abordagens adequadas ao fim a que a água se destina (*abordagens fit-for-purpose*), tais como a qualidade da água, a aplicação de multibarreiras, o solo e o clima, os efeitos que podem ter na qualidade da água, e as formas de a melhorar.

Estas normas incluem informações adicionais, como aquelas relacionadas com a rega de jardins públicos e privados, e outros exemplos, como para se melhorar a qualidade da água.

Cumprir ainda referir que os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos pelas Nações Unidas, estabelecem uma agenda ambiciosa até 2030 para envolver todos os países do mundo, independentemente do seu nível de rendimento, com o objetivo de assegurar que o desenvolvimento seja sustentável, tanto a nível social como ambiental. Neste âmbito, a reutilização da água como origem alternativa de abastecimento de água é reconhecido nesta Agenda de 2030, estando esta prática explicitamente ligada ao ODS 6 "Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos". É igualmente reconhecida com este objetivo a centralidade dos recursos hídricos no desenvolvimento

sustentável, abordando aspetos relacionados com a água, o saneamento e a higiene, e a qualidade e sustentabilidade dos recursos hídricos. A relevância da reutilização da água é também implicitamente encontrada no ODS 12 "Assegurar padrões de consumo e produção sustentáveis", o qual visa promover padrões de consumo e produção sustentáveis através de medidas sobre a gestão de materiais tóxicos para o ambiente. É também possível inferir ligações adicionais entre a reutilização da água e a Agenda 2030 através da interpretação da designação de outros objetivos, nomeadamente com o ODS 2 "Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e uma melhor nutrição e promover uma agricultura sustentável" e o ODS 11 "Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis", dada a transversalidade da água (UN, 2016; Ribeiro *et al.*, 2018).

A gestão integrada da água, tendo em conta a sua transversalidade a todos os sectores de atividade, carece de uma estruturação e de uma articulação coesa com as restantes políticas setoriais. É assim essencial uma articulação da *Nova Estratégia para o Sector de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais - PENSAAR 2020* com o que é estabelecido no contexto do Plano Nacional da Água - PNA, dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica - PGRH e na Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas - ENAAC (Monteiro, J. *et al.*, 2014).

As alterações climáticas são um dos grandes desafios estratégicos mencionados pelo governo português. Foram assim estabelecidos objetivos concretos, de modo a permitir uma melhor adaptação às mesmas, como por exemplo: incentivar a circularidade na economia, garantir um aproveitamento mais eficiente da água, melhorar a gestão do ciclo urbano da água. Neste último é feita alusão à reutilização de água pelas seguintes ações (Governo Constitucional, 2019):

- Aumentar a resiliência dos sistemas de saneamento de águas residuais, através da eliminação das ligações indevidas, da adaptação das ETAR aos fenómenos climáticos extremos e da reutilização de águas residuais tratadas;
- Executar a Estratégia Nacional para a Reutilização de Águas Residuais e elaborar os Planos de Ação para as 50 maiores ETAR urbanas do país até 2020, de modo a que as águas residuais aí tratadas possam depois ser utilizadas para outros fins (por exemplo: rega, abastecimento de bombeiros, lavagem da via pública ou lavagem de carros) de maneira a atingir valores de reutilização de 10% a 20% entre 2025 e 2030 como se pode ver na Figura 1 (Governo Constitucional, 2019).



Figura 1 – Previsão da percentagem de água reutilizada para 2025 e 2030

A estratégia para a utilização de água residual tratada passa pela identificação das instalações de tratamento com viabilidade de produção de água para reutilização, a identificação dos potenciais usos e as necessidades de investimento para assegurar os níveis de tratamento em conformidade com as normas de qualidade exigidas, bem como a definição das medidas necessárias para a promoção e concretização de projetos de reutilização viáveis, permitindo reduzir a necessidade da utilização dos recursos hídricos naturais (APA, n.d.). Na Figura 2 seguinte mostra-se a linha do tempo do conjunto de relatórios, diretivas europeias e legislação produzida relativa à reutilização da água.

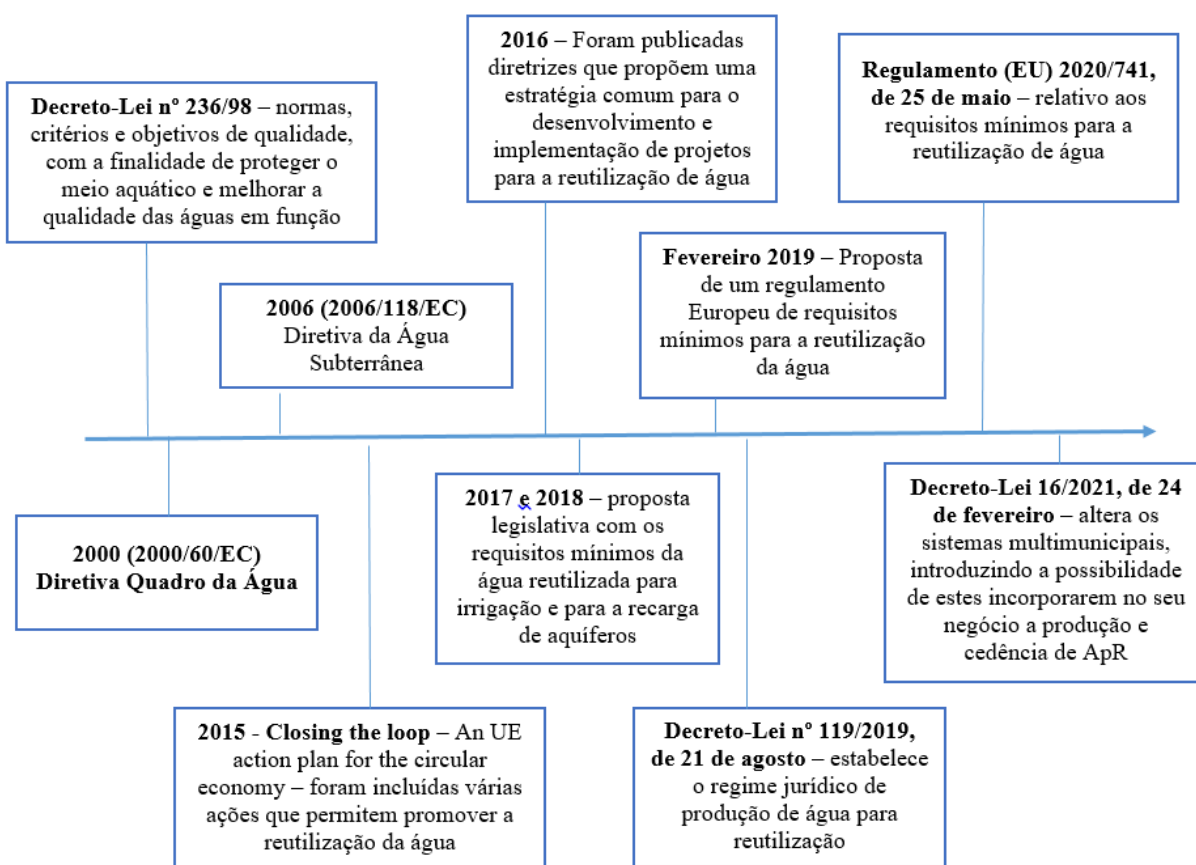


Figura 2 Cronograma de diretivas, Decretos-Lei e relatórios que estão ligados à água para reutilização

### I.2.2. Reutilização de Água na Agricultura

O consumo de água na agricultura representa à escala global, cerca de 70 % de toda a água consumida. Devido ao crescimento da população mundial, às alterações climáticas e à competição entre os diversos usos da água, estima-se que esteja em risco haver água suficiente para a rega, de toda a produção agrícola que será necessária para alimentar a população mundial em 2050 (FAO, 2012). Os sistemas de rega raramente são eficientes, fornecendo água a mais às culturas, e gerando escorrências que raramente são aproveitadas, que normalmente atingem os ecossistemas aquáticos e provocam importantes impactes ambientais, por conterem fertilizantes de síntese e/ou resíduos de pesticidas (UNWWAP, 2017). A rega agrícola constitui de longe a maior aplicação de água para reutilização quer a nível mundial, quer a nível europeu, correspondendo no total a cerca de um quarto do volume de água doce captada. Deste modo, a reutilização para rega agrícola apresenta o maior potencial de crescimento contribuindo, assim, para atenuar a escassez de água na Europa (Rebelo *et al.*, 2018).

A necessária produção agrícola nas próximas décadas, com a procura crescente de alimentos e o aumento do nível de vida, está cada vez mais dependente de origens de água alternativas (Wada, Y., Wisser, D., Bierkens, 2014). Tratar as águas residuais com um nível de eficiência ajustado à rega das diversas culturas agrícolas (pelo menos de algumas) será uma solução poderosa para a atual escassez de água no setor. No entanto, deve ter-se presente que utilizar água residual tratada na rega agrícola, pode representar riscos que dependerão do tipo de culturas e do eventual contacto alimento-ApR, portanto, as características físico-químicas e microbiológicas da ApR são da maior relevância e dependem dos tratamentos (e da sua eficiência) a que foi sujeita na ETAR, podendo o contacto alimento-ApR ser minimizado através da adoção de barreiras.

### I.2.3. Reutilização de Água na Indústria

O consumo de água na indústria à escala global representa 22% do consumo. A importância e a necessidade de utilização da água nos processos industriais mostram que o setor industrial nos países em desenvolvimento representam de 4 a 12 % do total (UNWATER, 2012; Ferreira *et al.*, 2019). À medida que a industrialização nos países em desenvolvimento aumenta, a utilização industrial da água pode potencialmente aumentar num fator de cinco, aumentando fortemente a pressão sobre os recursos hídricos. Atualmente as indústrias mais eficientes são

suportadas por uma gestão sustentável dos recursos, tendo otimizados os seus consumos de água e de energia, bem como o tratamento dos seus efluentes e as suas emissões gasosas. Um dos métodos que algumas indústrias têm utilizado para diminuir os seus impactos ambientais, é reduzir o consumo de água tratada para o consumo humano ou de água natural (superficial ou subterrânea), através da reutilização das suas águas residuais tratadas. Esta redução da captação de água utilizada pelas indústrias pode diminuir a pressão sobre os ecossistemas aquáticos, aumentando a sua disponibilidade de água e melhorando as relações com as comunidades envolventes. Uma melhor compreensão nas boas práticas para fechar o ciclo da reutilização é necessária, uma vez que as medidas atuais, tais como a redução do consumo de água doce e a reutilização direta podem afetar outros aspetos do ciclo, como por exemplo o incremento das cargas nas águas residuais brutas que poderão levar a um maior consumo de energia, maiores emissões de CO<sub>2</sub>, aumento do risco de falha nos sistemas de tratamento e a uma redução dos valores naturais (Rebelo *et al.*, 2018).

Portanto, a utilização de águas residuais na indústria pode ter lugar dentro de uma empresa ou entre empresas e tem o potencial de reduzir os custos para as mesmas tanto nas faturas de água como no tratamento de águas residuais. Dependendo dos contaminantes presentes nas águas residuais e da sua reutilização futura, pode ser diretamente reutilizada, ou previamente tratada e então reutilizada (UNWATER, 2012).

#### I.2.4. Reutilização de Água em Usos Urbanos Não Potáveis

O crescimento populacional e a sua migração para as cidades, têm levado a um crescimento da urbanização e ao conseqüente aumento da procura de água em meio urbano. A par do aumento das necessidades de água no ciclo urbano, também tem havido um aumento dos efluentes urbanos produzidos por ETAR cada vez melhor preparadas para os tratar. Assim, e no geral, as águas residuais urbanas são produzidas em quantidades cada vez mais abundantes, e são sujeitas a processos de tratamento cada vez mais eficientes, podendo constituir uma origem alternativa de água, sobretudo para usos não potáveis, que pode aliviar a exploração dos recursos hídricos naturais (Opher *et al.*, 2019).

A necessidade de preservação da água, que no passado era vista como uma medida temporária para épocas de seca, é atualmente considerada como uma abordagem estratégica e de longo prazo, com benefícios para as empresas que gerem a água, para o meio ambiente e para a humanidade em geral. O consumo doméstico de água (potável e distribuída para consumo

humano) em países desenvolvidos varia, entre 100 e 280 L/hab.dia. Em Portugal continental a média em 2017 foi de 176.7 L/hab.dia (PORDATA, 2021). No entanto cerca de 50 % da procura total de água urbana, é para usos não potáveis (Opher *et al.*, 2019). A utilização de águas residuais tratadas poderia permitir uma importante redução no abastecimento de água tratada para consumo humano. O uso de ApR na rega de espaços verdes urbanos, seria um importante método para se manter e/ou mesmo aumentar os espaços naturalizados dentro das cidades, e assim se potenciar os serviços ecossistémicos fundamentais para a qualidade de vida nas cidades. Desta forma, estar-se-ia a contribuir para a adaptação das cidades às alterações climáticas, criando zonas de sombreamento, diminuindo o efeito das ondas de calor, melhorando a qualidade do ar atmosférico, sequestrando carbono, retendo humidade atmosférica, etc. Há ainda um longo caminho a percorrer neste sentido, e o investimento em soluções baseadas na natureza permanece inferior a 1 % do investimento total na gestão dos recursos hídricos (UNWWAP, 2020).

### I.3. Caso de Estudo – Reutilização de Água no Concelho de Évora

#### I.3.1. Água e Socioeconomia no Concelho de Évora

A região Alentejo é a maior região de Portugal em termos territoriais, com uma área total de 31551 km<sup>2</sup>, sendo em simultânea a região com menor densidade populacional. Apenas apresenta 24 hab/ km<sup>2</sup> (sendo a média 112,8 hab/ km<sup>2</sup> em Portugal continental), residentes na sua maioria, em locais com até 5000 habitantes. A NUT III Alentejo Central apresenta neste contexto um valor semelhante à média regional (23,1 hab/km<sup>2</sup>), ainda que acima das outras sub-regiões alentejanas (CIMAC, 2020).

Em termos de organização territorial, o Alentejo Central é sobretudo marcado pela polarização em torno da cidade de Évora, e para além da baixa densidade populacional tem uma rede urbana desequilibrada, marcada pela existência de um reduzido número de polos urbanos de média dimensão, com desertificação contínua e crescente das zonas rurais, com predominância de lugares de pequena dimensão, muito distanciados das respetivas sedes de concelho (CIMAC, 2020).

A região eborense está integrada numa peneplanície que a sul é interrompida por relevos de baixa altitude, com exceção dos contrafortes da orografia entre Montemor-o-Novo e Valverde, que se prolongam até São Bento (364 m) a oeste da cidade. Em oposição a este relevo, num

alinhamento noroeste-sudeste, está implantada a cidade de Évora, numa elevação arredondada (310 m) onde, do ponto de vista geológico, predominam as rochas eruptivas. De uma maneira geral, a morfologia da região é pouco movimentada, com vertentes suaves e vales largos, integrando três bacias hidrográficas, as dos rios Sado, Tejo e Guadiana que drenam áreas aproximadas de 7640 km<sup>2</sup>, 24800 km<sup>2</sup>, 11800 km<sup>2</sup> respetivamente, no território português.

Os recursos hídricos subterrâneos nesta região são escassos, esta massa de água subterrânea corresponde ao Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Sado, que é fraturado e consequentemente heterogéneo, apresentando capacidade apenas para uma captação localizada. As formações geológicas desta região não têm uma grande capacidade de armazenamento de água, contudo apresentam alguma capacidade de regularização inter-anual, e têm-se revelado importantes para o abastecimento de água às populações em períodos de seca que cada vez são mais frequentes e severos na Bacia Hidrográfica do Sado. Portanto, são consideradas como reservas estratégicas (APA, 2021).

Em termos de recursos hídricos superficiais, destacam-se o rio Xarrama, e as ribeiras de Degebe, de Peramanca, de Valverde e da Viscososa. Estes são os principais cursos de água na área envolvente à cidade de Évora, caracterizadas por apresentarem caudais irregulares, devido à fraca precipitação tão característica no clima desta região, bem como à baixa permeabilidade das suas rochas dominantes (APA, 2019).

Em termos de atividades económicas, o setor agrícola nas últimas décadas revelou alguma estagnação mas, nos últimos anos parece ter encontrado na fileira agroalimentar uma aposta de revitalização, voltada para os vinhos, azeites e produtos tradicionais de qualidade (como os enchidos e os queijos), muito focados na internacionalização e na ancoragem das atividades económicas regionais (CIMAC, 2020).

Este movimento ocorre a par de uma tendência de regresso e valorização da atividade agrícola e do mundo rural, por parte de empresários mais jovens e mais qualificados, com perfis inovadores que têm vindo a transformar o setor na região, adaptando-o a mercados mais exigentes. Esta maior produtividade e rentabilidade no setor agrícola, com crescente conversão da atividade de sequeiro para a exploração de culturas de regadio, também se deveu à implantação das infraestruturas de rega associadas ao Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva (EFMA), cuja entidade responsável é a EDIA (EDIA, 2020).

A par destas atividades económicas, esta sub-região alentejana tem atraído investimentos relevantes em setores emergentes como a aeronáutica e as tecnologias de informação e

comunicação, com unidades de produção recentemente implementadas em Évora (CIMAC, 2020).

O concelho de Évora é atravessado por:

- Corredor transversal de articulação prioritária entre a Área Metropolitana de Lisboa e a Estremadura espanhola. Proporciona boas acessibilidades, no qual passa o eixo viário Lisboa/Madrid, além outros eixos viários mais secundários e futuro eixo ferroviário do TGV Lisboa/Madrid. Estas acessibilidades afiguram-se geradores de desenvolvimento, proporcionando a implantação de infraestruturas de apoio ao desenvolvimento da logística regional, de indústrias transformadoras e agroindustriais e de serviços de apoio às atividades produtivas;
- Corredor de turismo e de lazer correspondente à faixa litoral alentejana, juntamente com a atual albufeira do Alqueva, ainda pouco ocupadas;
- Pela zona de influência do Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva (EFMA), que foi criado com a constituição de uma reserva de água para fins múltiplos, nomeadamente para abastecimento público e agrícola, bem como a criação de condições propícias ao desenvolvimento do sector do turismo e de outras atividades de lazer. A cidade de Évora, além de sede de distrito e de concelho, pelo seu enquadramento territorial e pelas suas diferentes dinâmicas, destaca-se como grande centro de serviços na Região do Alentejo, começando por isso, desde há algum tempo, a assumir-se de uma forma bastante consolidada, como capital nacional, tornando-se assim um polo atrativo à fixação das pessoas.

A par da cidade de Viseu, dentro do panorama urbano português das cidades do interior, Évora ultrapassa a barreira dos 50 000 habitantes. Assim com 52 441 habitantes, continua a ser, o principal polo urbano da região alentejana, em termos populacionais e funcionais, onde vive a grande maioria da população ativa, em oposição às zonas rurais do concelho que enfrentam o risco de desertificação.

Por outro lado, Évora apresenta características que a colocam numa posição privilegiada dentro da rede urbana do Alentejo, de que se salientam a centralidade administrativa e terciária, o elevado valor patrimonial concelhio, a Universidade de Évora, e o seu papel como polo de dinamização cultural (PORDATA, 2021; CM de Évora, 2013; Mourato, 2009).

Em resultado desta sua posição geográfica, da disponibilidade de recursos/equipamentos e vias de comunicação, serviços e protagonismo socioeconómico, Évora promove de forma diária a deslocação pendular de 3.400 pessoas (CM de Évora, 2013).

O concelho de Évora tem vindo a registar, durante a última década, uma diversificação progressiva da sua base económica, com uma tendência bastante significativa para a terciarização, como são os casos do comércio e dos serviços, onde o alojamento e restauração e os serviços públicos (administração pública, defesa, segurança social, educação, saúde e ação social) prevalecem, a par de um crescimento do sector da indústria transformadora.

Apesar destas transformações, a agricultura continua a ser uma atividade de relevo<sup>1</sup>, assumindo uma importância significativa, nomeadamente nos concelhos limítrofes, uma vez que ocupa uma faixa importante da sua população ativa. Apresenta o maior número de agricultores com contabilidade organizada, como ainda, de forma simultânea, caracteriza a paisagem da região, apesar de se encontrar em grande transformação, nomeadamente através do aumento dos regadios. As explorações agrícolas e pecuárias não deixam contudo de apresentar, respetivamente, dimensões grandes e médias, em relação à média do país.

Apesar das transformações verificadas nos últimos anos e acima citadas, a paisagem da região caracterizada pela cultura de cereais em regime extensivo, com zonas de pastagens e manchas de floresta de sobro e azinho, vai-se transformando com as culturas de regadio como os olivais e as vinhas. No concelho existem vários tipos de solos que, pelas suas características, foram determinantes na sua utilização durante as várias ocupações humanas, tratam-se de solos de fertilidade variável, com frequentes afloramentos rochosos, apresentando por vezes riscos de erosão; e solos litólicos, mediterrâneos, principalmente derivados de xisto, barros e calcário. Os solos de baixa fertilidade, que apresentam com frequência afloramentos rochosos, ocupam uma grande extensão na zona envolvente da cidade de Évora, distribuindo-se os solos mais ricos, quase exclusivamente, por estreitas faixas localizadas junto às linhas de água (rios Degebe e Xarrama, ribeira de Valverde).

No entanto, o desenvolvimento de mercados locais fortes e com escala, encontra-se dificultado devido às características do seu povoamento, concentrado e disseminado.

Como polos da sua dinâmica económica e geradores de desenvolvimento regional, destacam-se:

- A Zona dos Mármorez, situada sobre a estrutura geológica de Estremoz, abrangendo os concelhos de Estremoz, Borba, Vila Viçosa, e Alandroal, com os reflexos que daí possam advir, sobretudo para o concelho de Évora;

---

<sup>1</sup> Mais pela geração de valor acrescentado do que emprego.

- O município de Évora, pela sua centralidade e particularmente dinâmico pela sua dimensão, sendo capital de distrito, Cidade Património Mundial e pela dinâmica urbanística que tem tido nos últimos anos.
- Os municípios da área de influência do Alqueva que, com a construção da Barragem de Alqueva, beneficiam com a implementação dos perímetros de rega e do desenvolvimento turístico associado à albufeira, gerando uma nova dinâmica na região.
- O Eixo Lisboa – Madrid, elemento dinamizador da região, do qual têm beneficiado particularmente os municípios de Vendas Novas, Montemor-o-Novo, Évora e Estremoz, nomeadamente ao nível da expansão urbanística, crescente nos últimos anos.
- Turismo, pela cidade de Évora, como cidade património, que aliado ao facto da sua proximidade à albufeira do Alqueva, onde se tem vindo a verificar um desenvolvimento de infraestruturas hoteleiras, através da construção de *resorts* muitos dos quais tendo agregados campos de golfe, caso do Roncão d’el Rei e Finca Rodilhas.

Apesar de se ter verificado na última década, um ligeiro decréscimo ao nível da taxa de desemprego no concelho esta mantém-se bastante elevada face à média nacional, com particular incidência na população feminina, que com o atual cenário da crise internacional, se tem vindo a acentuar ainda mais.

As principais atividades económicas deste concelho são os serviços, o comércio, a Indústria de equipamento e de ótica e a agricultura. De entre estes, o ramo de atividade que ocupa cerca de metade da sua população é o dos serviços, nomeadamente, a administração e demais serviços públicos, incluindo a educação e a saúde.

A agricultura continua a ser uma atividade importante no concelho, ao nível da criação de riqueza, apesar de dispor de uma reduzida ocupação de mão-de-obra, pela forte mecanização e modernização registada. Caracteriza-se pela cultura de cereais, trigo, cevada e aveia, em regime extensivo de sequeiro<sup>2</sup>, com zonas de pastagens e manchas de floresta de sobro e azinho. A olivicultura, a viticultura, e em escala crescente devido ao EFMA, as culturas de regadio são cada vez mais atividades importantes.

Em relação à produção silvícola, a cortiça ocupa lugar de destaque, onde Portugal é o principal produtor mundial, contribuindo a região com cerca de 30% da sua produção.

---

<sup>2</sup> Podem atingir uma produção média de 2.000 kg/ha, podendo chegar até aos 4.000 kg/ha nos solos de boa qualidade

Segundo dados de 2011 a sua taxa de desemprego no Alentejo situava-se nos 12,83 %, sendo 11,92 % nos Homens e 13,86 % nas Mulheres (Censos, 2011).

O concelho de Évora integra-se numa vasta planície com uma área de 1307 km<sup>2</sup>. A área urbana do concelho ocupa 1643 ha e distribui-se por 19 freguesias (Figura 3): 7 urbanas (3 no Centro Histórico de Évora) e 12 rurais.

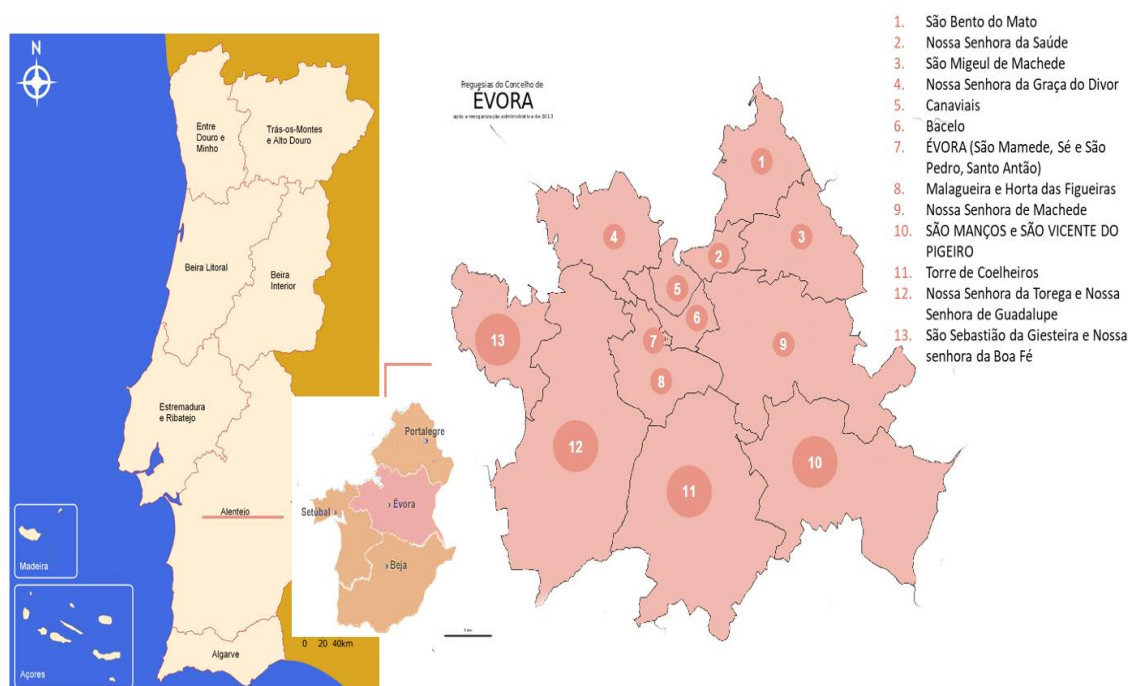


Figura 3 - Freguesias do concelho de Évora. (Fonte: PDM de Évora, adaptado pela autora, 2021)

O abastecimento de água e saneamento de Évora está atualmente sob a exploração e gestão da Águas do Vale do Tejo - AdVT do grupo Águas de Portugal SGPS, S.A..

A Barragem de Monte Novo (Figura 4), implantada no rio Degebe, na bacia Hidrográfica do Guadiana, é origem de captação para irrigação e abastecimento ao concelho de Évora e dista da cidade aproximadamente 20 km (SNIRH, 2021).

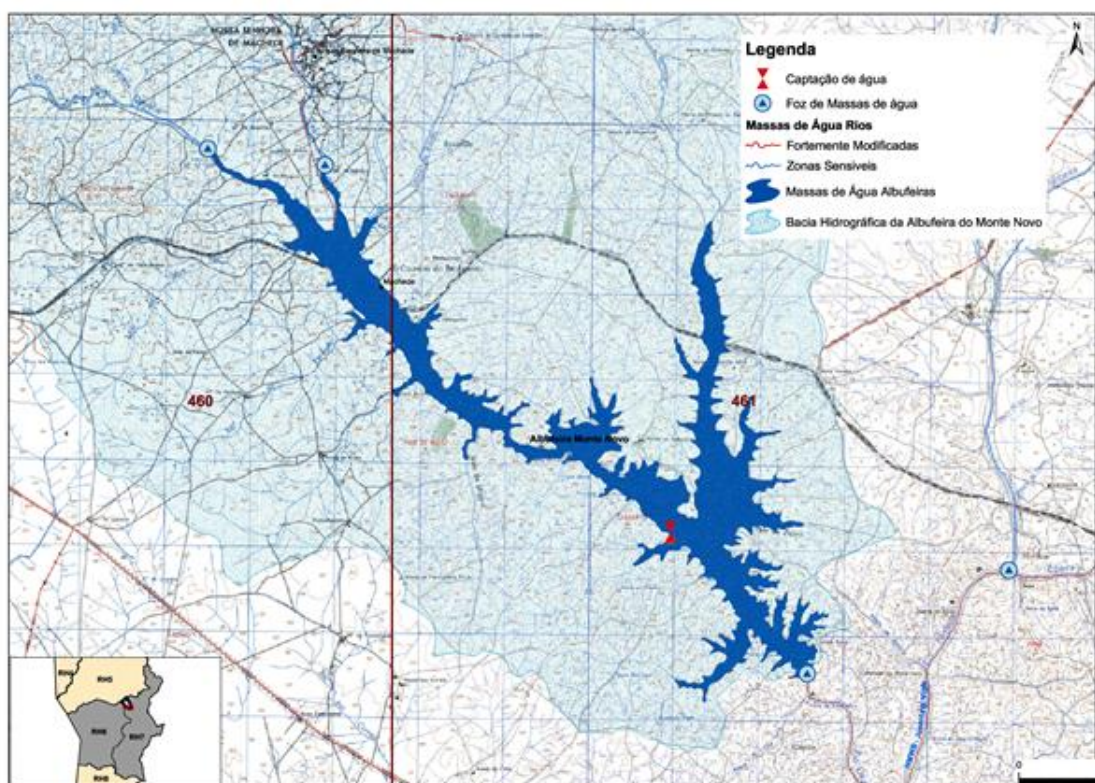


Figura 4 - Albufeira da Barragem do Monte Novo (Fonte: APA, Contrato Concessão emitido à AdVT, 2010)

A água captada na albufeira de Monte Novo é aduzida à Estação de Tratamento de Águas (ETA) de Monte Novo, na qual passa por um processo de tratamento físico, químico e uma desinfecção final. O tratamento instalado na ETA permite tratar uma água de qualidade A3, de acordo com o definido no Anexo II do Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto, de forma a garantir a produção de água para consumo humano, nos termos do Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de Agosto. A concessão atribuída em 2010 à então Águas do Centro Alentejo (extinta, atualmente Águas do Vale do Tejo), atribui a exploração da captação de águas superficiais da albufeira da Barragem de Monte Novo até um volume máximo anual de 4,3 hm<sup>3</sup> com a finalidade de abastecimento publico, prevendo-se um valor máximo anual de 7,0 hm<sup>3</sup>, em função do número de habitantes e de indústrias que venham a depender do sistema de abastecimento no qual se integra a captação, até ao ano horizonte de projeto, ou seja, 2033 (APA, 2021).

A captação de água na Albufeira do Monte Novo (Figura 5) é efetuada através de uma torre de captação localizada no ponto de coordenadas X= 235382 m, Y=173273 m e Z=192,5 m. A torre de captação é constituída por 3 grupos de eletrobombas: 2 com capacidade de 450 m<sup>3</sup>/h e outro com 650 m<sup>3</sup>/h.



Figura 5 - Aspeto geral da captação do Monte Novo (Fonte: APA, Contrato Concessão emitido à AdVT, 2010)

A ETA de Monte Novo (Figura 6) foi projetada para um caudal máximo de  $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ , isto é, tem capacidade de  $22\,000 \text{ m}^3/\text{dia}$ . A linha processual de tratamento da fase líquida é constituída por pré-oxidação (Ozono), remineralização ( $\text{CO}_2$ ), coagulação (Sulfato de Alumínio, Carvão ativado, Leite de Cal), Floculação/Flotação (Polieletrólito) ou Decantação (Polieletrólito), Desmanganização (Permanganato de Potássio e Leite de Cal), Filtração Rápida, Desinfecção (Cloro) e Correção Final do pH (Leite de Cal). A Estação Elevatória existente no recinto da ETA de Monte Novo tem capacidade de  $1\,445 \text{ m}^3/\text{h}$  e potência de  $947 \text{ kW}$ . O reservatório junto à ETA é constituído por duas células com capacidade de  $70\,205 \text{ m}^3$  e condutas adutoras DN 500 mm com  $10,6 \text{ km}$  em troço gravítico e  $17,3$  em troço elevatório.

Alinhado com a Estratégia Nacional para Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAAC), e dado que a região Alentejo se mostrou particularmente vulnerável à seca do ano 2017, foi estabelecida uma parceria entre o Grupo Águas de Portugal (AdP) e a EDIA visando a melhoria da gestão dos recursos hídricos disponíveis no contexto de escassez a vários níveis, nomeadamente com a realização de ligações diretas de condutas adutoras do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EDIA) à ETA do Monte Novo (AdVT), para responder a situações de contingência em cenários mais exigentes de escassez hídrica na região (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).



Figura 6 - Aspeto geral da captação e da ETA de Monte Novo (Fonte: APA, Contrato Concessão emitido à AdVT, 2010)

A distribuição da água em baixa à população é assegurada pelos serviços da Câmara Municipal de Évora (CM de Évora, 2013).

### I.3.2. Caracterização das ETAR existentes no concelho de Évora

As águas residuais tratadas produzidas no concelho de Évora, advêm do tratamento efetuado nas dezoito ETAR existentes (representadas na Figura 7) e que resultam das diversas atividades que são desenvolvidas no concelho. O seu volume total de  $5.508.452 \text{ m}^3$  ( $5,5 \text{ hm}^3$ ) [AdVT,] é resultado do somatório dos volumes produzidos em cada uma das ETAR que constituem o subsistema do concelho, fazendo este parte integrante do sistema de saneamento das AdVT, à semelhança dos sistemas de abastecimento em alta e a qual é responsável pela sua gestão.



Figura 7 - Subsistema de tratamento de Águas Residuais no concelho de Évora, AdVT, adaptado pela autora

O conjunto das características das várias ETAR do concelho apresentam-se nas Tabelas 1 e 2 seguintes, que se reportam ao ano horizonte de projeto de cada uma das ETAR.

Tabela 1 - ETAR existentes dentro do limite do concelho de Évora

Listagem das ETAR do concelho de Évora				
Designação	Nível de Tratamento		População Equivalente (hab)	Volume tratado (m <sup>3</sup> /dia)
Azaruja	Secundário	Preliminar + Lagunagem	1130	221
Nossa Senhora da Boa-Fé			50	7,8
Nossa Senhora da Graça do Divor			370	72
Nossa Senhora de Guadalupe			920	97,3
São Sebastião da Giesteira			530	83
São Brás do Regedouro			80	13
Torre de Coelhoos			700	109
Casas Novas		Fossa + Leito macrofitas	142	27,7
Vendinha			391	41
Nossa Senhora de Machede		LAAP + Leito macrofitas	872	187
São Manços	LAAP	930	140	
São Miguel de Machede		614	120	
Valverde		505	108	
São Vicente de Valongo	Mais avançado que o terciário	Fossa + Trincheiras de Infiltração	100	15,6
Évora		LAAC	63561	13760
Bairro do Degebe	Secundário	Compacta	100	15,6
Bairro das Espadas		Fossa + Tanques de Filtração + Lagoa	330	51,3
Estação de Alcáçovas		Fossa + Trincheiras filtrantes	100	15,6

(Fonte: APA, 2021)

Tabela 2 - Quantidade de efluente tratado por ETAR

DESIGNAÇÃO	Q <sub>med</sub> descarga	Volumes médios tratados (m <sup>3</sup> /ano)	
		Por ETAR	% do Total
Azaruja	221	80665	1,46
Nossa Senhora da Boa-Fé	7,8	2847	0,05
Nossa Senhora da Graça do Divor	72	17520	0,32
Nossa Senhora de Guadalupe	97,3	35515	0,65
São Sebastião da Giesteira	83	30295	0,55
São Brás do Regedouro	13	4745	0,09
Torre de Coelheiros	109	39785	0,72
Casas Novas	27,7	10110	0,18
Vendinha	41	14965	0,27
Nossa Senhora de Machede	187	68255	1,24
São Manços	140	62250	1,13
São Miguel de Machede	120	43800	0,80
Valverde	108	39420	0,72
São Vicente de Valongo	15,6	5694	0,10
Évora	13760	5022400	<b>91,18</b>
Bairro do Degebe	15,6	5694	0,10
Bairro das Espadas	51,3	18798	0,34
Estação de Alcáçovas	15,6	5694	0,10
Total:		5508452	100%

(Fonte: APA, 2021)

Procedendo-se à análise dos valores acima discriminados, verifica-se que o maior volume de águas residuais tratadas produzido no concelho de Évora diz respeito à ETAR de Évora, respeitante à malha urbana da própria cidade com 91,18 % da totalidade das águas residuais tratadas produzidas nas dezoito ETAR de todo o concelho, assumindo-se com predominância significativa relativamente aos volumes produzidos nas restantes ETAR do concelho.

Pelo facto de ser um valor que se distancia muito dos volumes das restantes ETAR e ainda pelo seu nível de tratamento ser mais avançado que o secundário, permitindo um grau de tratamento compatível com a produção de ApR, ficando apenas dependente da qualidade que lhes é exigida em função da sua utilização, optou-se por utilizar neste estudo apenas a ETAR de Évora com o

objetivo de fomentar a utilização de ApR, estudando a sua viabilidade no concelho de Évora, de forma a reduzir-se o uso de águas tratadas para consumo humano em fins não potáveis.

### I.3.3. Caracterização da ETAR de Évora

A ETAR de Évora localiza-se na Barbarrala, conforme se ilustra na Figura 8, a Sul do Parque Industrial e Tecnológico de Évora, freguesia de Horta das Figueiras, próximo do rio Xarrama (meio recetor das águas residuais tratadas). Encontra-se dimensionada para servir um equivalente populacional (e.p.<sup>3</sup>) de 78601 no ano horizonte de projeto (2033), sendo a população servida atualmente de 63561 habitantes (APA, 2021). Trata-se de uma estação destinada a tratar efluente urbano maioritariamente de origem doméstica, sendo que as escassas indústrias existentes ligadas à rede de drenagem têm efluentes de características urbanas e não industriais.

---

<sup>3</sup> 1 e.p – 60 g CBO<sub>5</sub>/dia, de acordo com o D.L. n.º 152/97, de 19 de junho, na sua redação atual



Figura 8 - Localização da ETAR de Évora (Fonte: SILiAmbGeo, Adaptado pela autora, 2021)

A ETAR de Évora foi em 2012 a obras de ampliação e remodelação, que tinham como objetivo, melhorar as condições do seu funcionamento genérico e principalmente dotá-la de tratamento terciário para remoção de azoto, adicionalmente à remoção de fósforo e carbono já implementada. Estes requisitos eram necessários para dar cumprimento à legislação (Portugal, 2008; Portugal, 1997; CEE, 1991), uma vez que o meio recetor do efluente tratado da ETAR de Évora, é o rio Xarrama afluente à Albufeira do Vale do Gaio, classificada como zona sensível à eutrofização (área de influência da zona sensível: albufeira de Vale do Gaio), o que determina a implementação na ETAR de um tratamento mais rigoroso que o secundário, que incluía a remoção de nutrientes (P e N), de acordo com o Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, na sua redação atual, que transpõe para direito interno a Diretiva 91/271/CEE.

Tabela 3 - Valores Limite de Emissão a ser cumpridos pela ETAR de Évora

Parâmetro	Concentração
CBO <sub>5</sub>	25 mg/L
CQO	125 mg/L
SST	35 mg/L
Azoto Total	15 mg/L
Fósforo Total	2 mg/L
pH	4,5 – 9,0
Óleos e Gorduras	15 mg/L

(Fonte: Decreto-lei nº 152/97, de 19 de Julho conjugado com o Decreto-lei nº 236/98, de 1 de Agosto)

A empreitada de ampliação da ETAR teve assim como finalidade a adaptação do tratamento biológico à remoção biológica de azoto, a solução desenvolvida baseia-se num tratamento das águas residuais com biomassa suspensa, que ocorre através de dois processos de tratamento biológico. A ampliação da capacidade e a remodelação da configuração dos reatores biológicos permite a remoção biológica de fósforo, (na zona anaeróbia) e a nitrificação/desnitrificação (zona arejada/zona anóxica). A ETAR tem portanto, um sistema de lamas ativadas em arejamento convencional (média carga), com remoção biológica e química de fósforo e nitrificação/desnitrificação. Na fase final, tem sistema de desinfecção por UV, para baixar a carga microbiológica no efluente tratado. O objetivo é que a ETAR ofereça garantias de um funcionamento fiável, robusto, automatizado e que permita a remoção de azoto, fósforo e carbono, otimizando também os custos de exploração relacionados com o consumo energético do sistema de arejamento. As restantes etapas de tratamento da ETAR, onde se incluem a fase sólida, fase gasosa e a reutilização do efluente tratado, não sofreram quaisquer alterações decorrentes da empreitada.

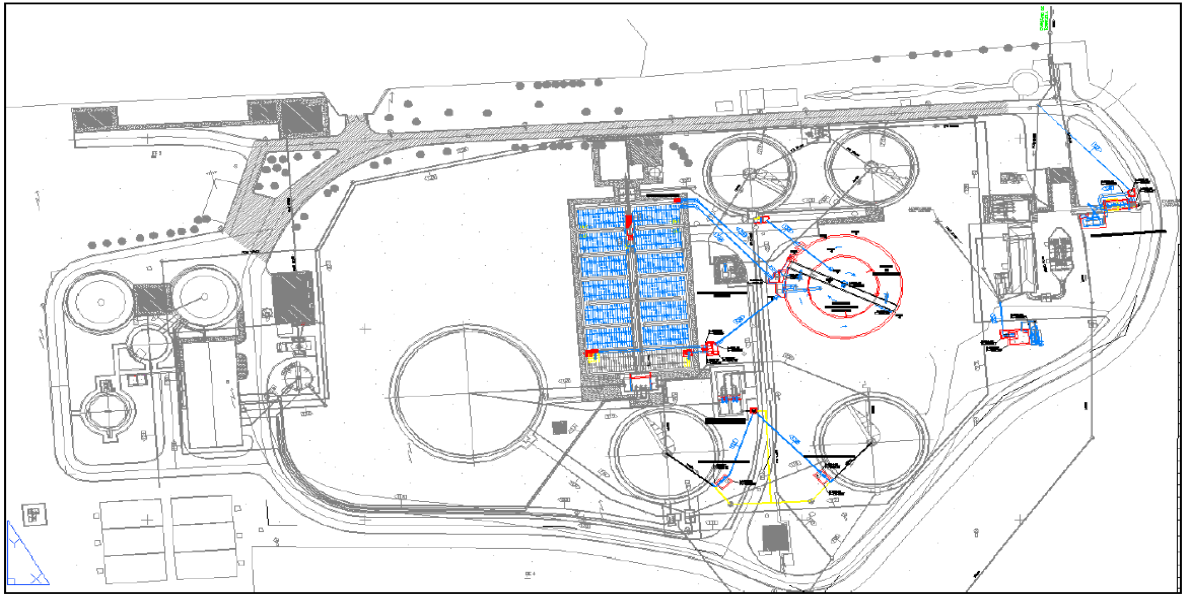


Figura 9 – ETAR de Évora na sua estrutura atual, após remodelação do tratamento biológico (AdVT, 2015)

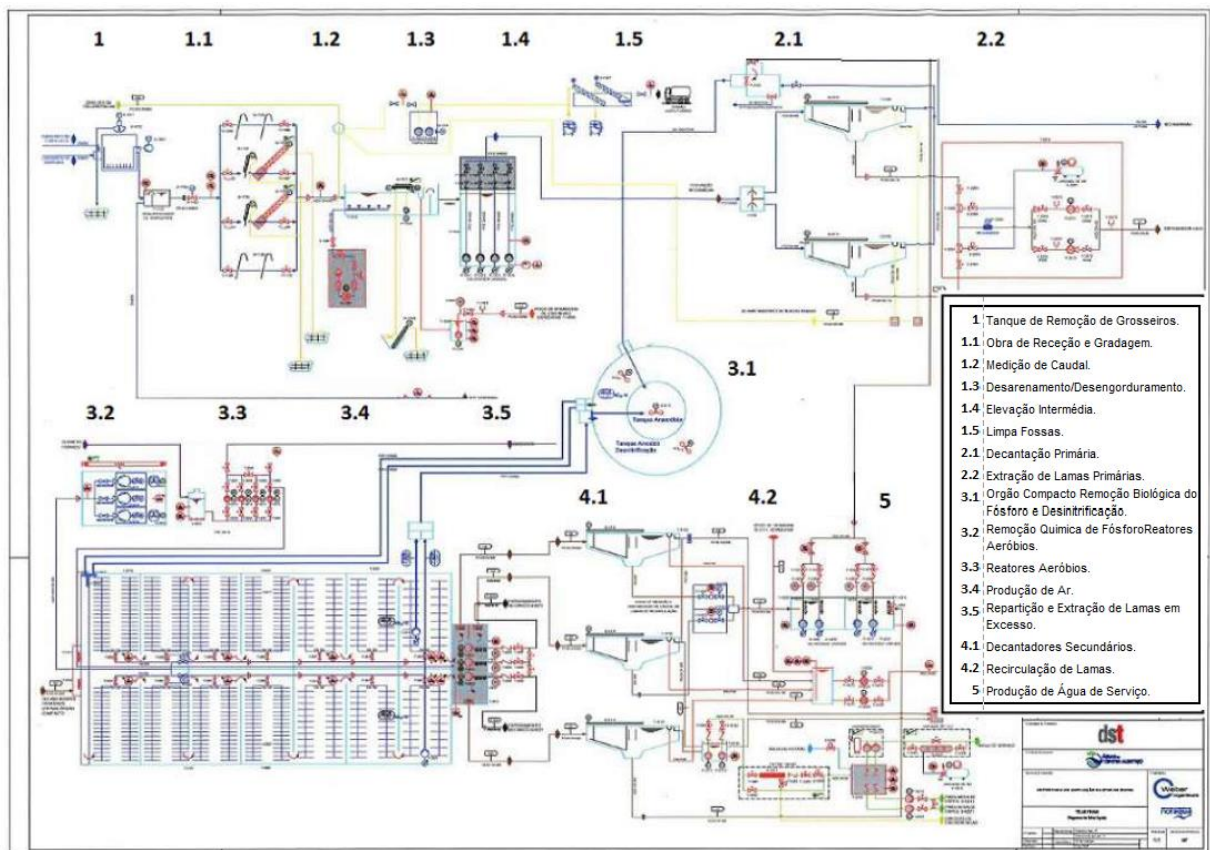


Figura 10 – Processos de Tratamento da ETAR de Évora (Fonte: AdVT, 2015)

A medição de caudal nesta ETAR é feito à entrada do sistema ou seja, o caudal medido através do caudalímetro eletromagnético, é o caudal que aflui à linha de tratamento depois de passar

pelos tanque de remoção de grosseiros e obra de receção e gradagem, correspondendo por isso ao volume de afluente a tratar.

Para o presente trabalho importa caracterizar o caudal à saída da ETAR. Qualitativamente este é monitorizado à saída após a linha de tratamento, sendo que quantitativamente a sua medição é feita à entrada na linha de tratamento pelo que para esse efeito considera-se que o volume rejeitado, segundo Metcalf & Eddy (2015), sem prejuízo de ter variações de fluxo durante o processo, é igual ao medido no caudalímetro e reportado pela empresa gestora do sistema à entidade licenciadora.

Historicamente o volume anual médio de águas residuais tratadas descarregado no meio hídrico é de 5 milhões de m<sup>3</sup>, sendo apenas reutilizados 3 centenas de m<sup>3</sup> em lavagens exteriores e na rega de espaços verdes associados à estação de tratamento. A ETAR de Évora é por isso um utilizador das ApR utilizando 308 m<sup>3</sup>/dia dentro do recinto da própria ETAR.

### I.3.3. Usos da Água na Envolvente da ETAR de Évora

Na região de Évora para além dos setores ditos tradicionais como agricultura de vinha com produção de vinho (adegas) e olival com produção de azeite (lagar), a região tem atraído investimentos relevantes em setores emergentes como a aeronáutica e as tecnologias da informação e comunicação, com unidades de produção recentemente localizadas em Évora. Em março de 2021 foi apresentado à APA um projeto de produção de hidrogénio na proximidade da ETAR de Évora. O projeto em causa contempla a instalação de uma Central Solar piloto para produção de Hidrogénio a partir de energia solar, que será instalada numa área de terreno com cerca de 2,9 ha (designada por Quinta da Casinha, na freguesia da Sé, em Évora). Esta unidade necessita de rede de distribuição de água purificada, para produção de hidrogénio, com sistema associado de depósito de reserva de água, depósito hidropneumático, bombagem e purificador de água. O hidrogénio produzido será numa primeira fase engarrafado para ser vendido no mercado de retalho para grandes consumidores industriais e, quando estiver concluída a regulamentação para mistura de gases na rede de gás natural, poderá vir a substituir uma parte do gás natural que é distribuído pelo sistema de abastecimento local, contribuindo para a redução de emissões de CO<sub>2</sub> oriunda desta utilização energética.

A existência de centrais fotovoltaicas, zonas industriais e áreas urbanas distantes do aglomerado da cidade, bem como o Aeródromo de Évora são possíveis utilizadores.

De acordo com informação da autarquia de Évora o seu parque automóvel é composto por 113 viaturas ligeiras, 28 viaturas pesadas, 33 viaturas afetas à recolha de resíduos sólidos urbanos (RSU) e ainda 34 máquinas, nomeadamente tratores, retroescavadoras, etc.

Estas atividades a par de eventuais utilizações nos espaços urbanos da cidade poderão ser beneficiados pela utilização de ApR.

#### I.4. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é fomentar a utilização de ApR, estudando a sua viabilidade no concelho de Évora, de forma a reduzir-se o uso de águas tratadas para consumo humano em fins não potáveis.

Os objetivos específicos que se pretende atingir são:

- Caracterizar a ETAR de Évora existente e os usos do solo na área envolvente, para definir possibilidades de utilizar ApR;
- Estudar a integração do nível de tratamento desta ETAR, com a utilização de multibarreiras para definição de sinergias e gestão dos riscos;
- Propor as soluções mais viáveis no espaço territorial estudado, atendendo à gestão do risco e aos princípios da circularidade.

## II. Metodologia

### II.1. Aquisição da Informação

Os dados relativos à caracterização da ETAR de Évora e dos valores paramétricos dos diversos indicadores físico-químicos e biológicos no seu efluente tratado ao longo do tempo foram fornecidos pela Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA) enquanto Autoridade da Água com competências na gestão dos recursos hídricos. Os métodos analíticos, de acordo com a informação contante na licença de rejeição, utilizam a metodologia aplicável em conformidade com o disposto na legislação em vigor e de acordo com a Diretiva 2009/90/CE, transposta para direito interno pelo Decreto-Lei n.º 83/2011, de 20 de junho.

Os dados da pluviosidade foram obtidos a partir do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos - SNIRH e complementados a partir do WeatherOnline, para a estação meteorológica mais próxima (São Manços, Évora), a cerca de 19 km da ETAR.

O Município de Évora também facilitou a informação relativa ao número de viaturas que a autarquia possui à data de setembro de 2021 e em que potencialmente se pode utilizar o efluente tratado para as respetivas lavagens.

A recolha bibliográfica necessária foi feita recorrendo-se a motores de pesquisa automática, nomeadamente através da b-on e do Sciencedirect. Todos os dados recolhidos foram analisados estatisticamente de forma a poderem ser interpretados com carácter fidedigno. A dissertação foi redigida de acordo com o regulamento da UAlg em vigor e será elaborado um artigo científico para ser submetido a uma revista com revisão por pares.

## II.2. Análise e Tratamento de Dados

### II.2.1. Caracterização do Efluente Tratado pela ETAR

#### II.2.1.1. Quantidade de Efluente Tratado

Foram recolhidos os dados relativos aos volumes mensais de efluente tratado em 2017, 2018, 2019 e 2020 pela ETAR em estudo e representados graficamente de forma a permitir a avaliação de eventuais tendências sazonais de 2017 a 2019 e a perceber se 2020 terá sido ou não, um ano atípico devido a eventuais efeitos da pandemia vivida desde o início do ano de 2020, provocada pelo novo coronavírus SARS-CoV-2 e responsável pela doença Covid-19 (DGS, 2021). Foi graficada a informação relativa à pluviosidade no mesmo período temporal, de forma a perceber-se a sua influência nos caudais do efluente da ETAR.

#### II.2.1.2. Qualidade do Efluente Tratado

Foram analisados os valores referentes aos dados paramétricos no efluente tratado, de acordo com o Título de Utilização dos Recursos Hídricos – TURH – licença para rejeição de águas residuais tratadas com referência L014609.2016.RH6, e com o Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho na sua redação atual, que transpõe para o direito interno a Diretiva 91/271/CEE.

De acordo com o disposto no TURH, com periodicidade quinzenal consideraram-se os parâmetros carência bioquímica de oxigénio (CBO<sub>5</sub>, 20 °C), carência química de oxigénio (CQO), pH, sólidos suspensos totais (SST), azoto total e fósforo total. Com periodicidade trimestral, os óleos e gorduras, coliformes fecais e ovos de parasitas intestinais. Finalmente, uma vez por semestre foram considerados níquel, cobre e crómio.

## II.2.2. Caracterização da Procura de Água na Área Envolvente à ETAR

Procedeu-se à caracterização dos usos do solo, numa distância considerada como razoável (APA, *n.d.*), num raio de 2,5 km da ETAR, com base na informação disponível no geovisualizador do Sistema Integrado de Licenciamento do Ambiente – SILiAmbGeo - e no Sistema Nacional de Informação Geográfica – SNIG, conforme se ilustra na Figura 11.



Figura 11 - Fonte: SILiAmbGeo, set, 2021 (adaptado pela autora)

Na envolvente à ETAR de Évora há dois parques fotovoltaicos, um a Norte cujos terrenos fazem extrema com o recinto da ETAR distando cerca de 80 m dos órgãos da ETAR e outro de maior área a Oeste a cerca de 570 m, respetivamente Parque Fotovoltaico de Évora Glint Energy e Parque Fotovoltaico da Herdade da Barba Rala – Casinha.

Há ainda algumas herdades, a mais próxima à ETAR a Quinta da Casinha que rega 12 ha de culturas forrageiras, a Herdade da Serralheira que rega 25 ha de vinha, o Parque da Indústria Aeronáutica de Évora Lote A-I, Herdade do Pinheiro e Casa Branca, com necessidades de rega de 12 ha espaços verdes, nomeadamente jardins e relvados e o Parque de Industria Aeronáutica de Évora Lote AII, Herdade do Pinheiro e Casa Branca com necessidades de rega de praticamente 9 ha de espaços verdes, nomeadamente jardins e relvados. Há ainda a uma

distância de pouco mais de 2000 m o Aeródromo Municipal de Évora com uma pista com cerca de 1300 m de comprimento.

Face aos usos na envolvente à ETAR de Évora há potencial para o uso de ApR, quer na irrigação agrícola de forrageiras, vinha, bem como na lavagem de painéis fotovoltaicos dos parques fotovoltaicos existentes a Norte e Oeste da ETAR e ainda na rega de espaços verdes e na lavagem da pista e instalações do Aeródromo de Évora.

### **III. Análise e Discussão dos Resultados**

#### **III.1. Quantidade de Efluente Tratado**

Os volumes mensais de efluente tratado em 2017, 2018, 2019 e 2020, e a média de 2017, 2018 e 2019 apresentam-se na Figura 12. Para se compreender a sua relação com a precipitação ocorrida no mesmo período temporal, representam-se os valores mensais da precipitação na Figura 13. Optou-se por não integrar o ano 2020 na média, de forma a poder perceber-se se situação de pandemia<sup>4</sup> poderá ter tido algum impacto no volume de água residuais encaminhadas para a ETAR de Évora.

Com a pandemia houve um acréscimo geral acentuado de lavagens e higienização, decorrente das normas emanadas pelas Autoridades de Saúde (DGS, 2021), o que poderia à partida determinar a produção de um maior volume de efluente, no entanto esse efeito foi mascarado pela precipitação e pela existência de um sistema unitário de drenagem.

Por outro lado, não se observa uma forte evidência de que a paragem industrial tivesse influenciado a produção de águas residuais, o que está em linha com o facto do tecido industrial de Évora ter menor expressão na quantidade de efluente produzido do que a componente urbana (incluindo a doméstica).

Os meses em que o volume de efluente tratado é maior são os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, coincidentes com os meses de maior precipitação. Assim, para no mês de março de 2018 foi tratado um volume de 518 425 m<sup>3</sup> e rejeitado para o meio hídrico recetor, sendo que o mês em que ocorre a menor rejeição de efluente é em Setembro de 2019, correspondendo a 206 230 m<sup>3</sup>.

---

<sup>4</sup> Situação de emergência de saúde pública ocasionada pela doença COVID-19, qualificada como uma pandemia internacional pela Organização Mundial de Saúde a 11 de março de 2020 (WHO, 2021).

Observam-se os picos máximos de precipitação e de efluente tratado nos meses de março, novembro e dezembro e os valores mínimos observam-se nos meses de verão, nomeadamente de junho a setembro.

Como se pode verificar globalmente a variação da média de efluente tratado em 2017, 2018 e 2019, tem uma tendência similar à precipitação média sentida nos mesmos anos.

No entanto existem alguns meses como março e abril em que o volume de efluente tratado parece estar a ser afetado por outras variáveis para além da precipitação.

A precipitação mensal ao longo de 2020 foi superior à dos anos anteriores exceto nos meses de fevereiro, junho, julho e dezembro.

O volume de efluente tratado em 2020 foi superior ao registado nos anos anteriores nos meses de janeiro, fevereiro, abril, maio e novembro, este facto parece ser resultante não só da precipitação ocorrida mas também dos meses de confinamento devido à Covid-19, nomeadamente abril, maio e novembro.

O ano de 2020 correspondeu aquele em que a ETAR produziu maior quantidade de efluente tratado.

Em média a ETAR de Évora tratou entre 2017 e 2019 4,22 milhões de m<sup>3</sup>/ano e em 2020 foram tratados 4,43 milhões de m<sup>3</sup>/ano.

O ano de 2020 pode-se considerar um ano atípico não apenas pela situação pandémica devido ao vírus SARSCov-2, mas também por ter sido um ano em que ocorreu maior precipitação.

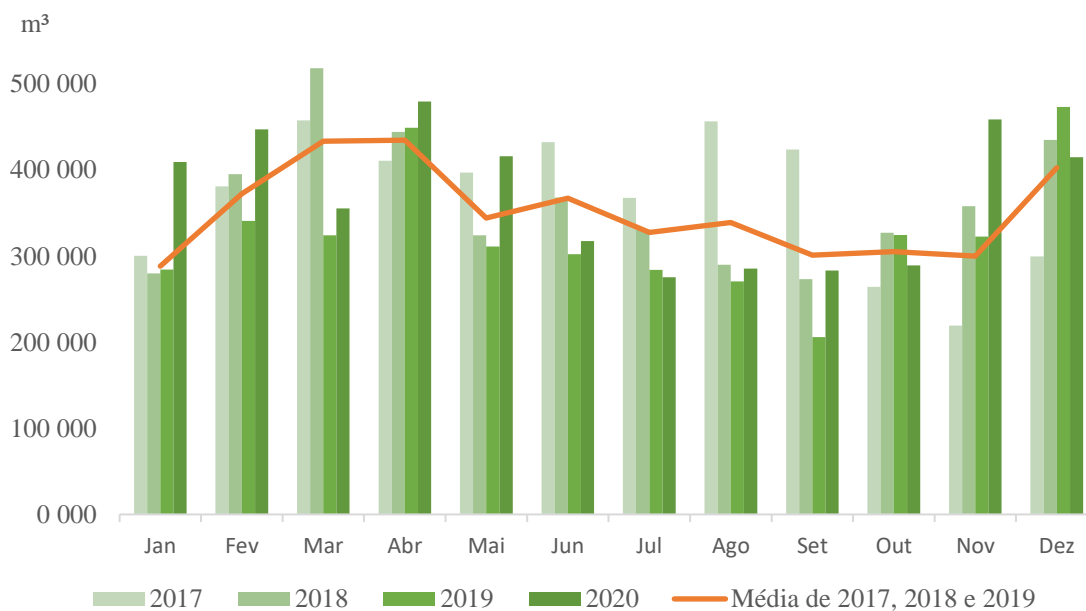


Figura 12 - Evolução mensal do Efluente Tratado no período em estudo, excluindo-se o ano de 2020 da média com os anos anteriores

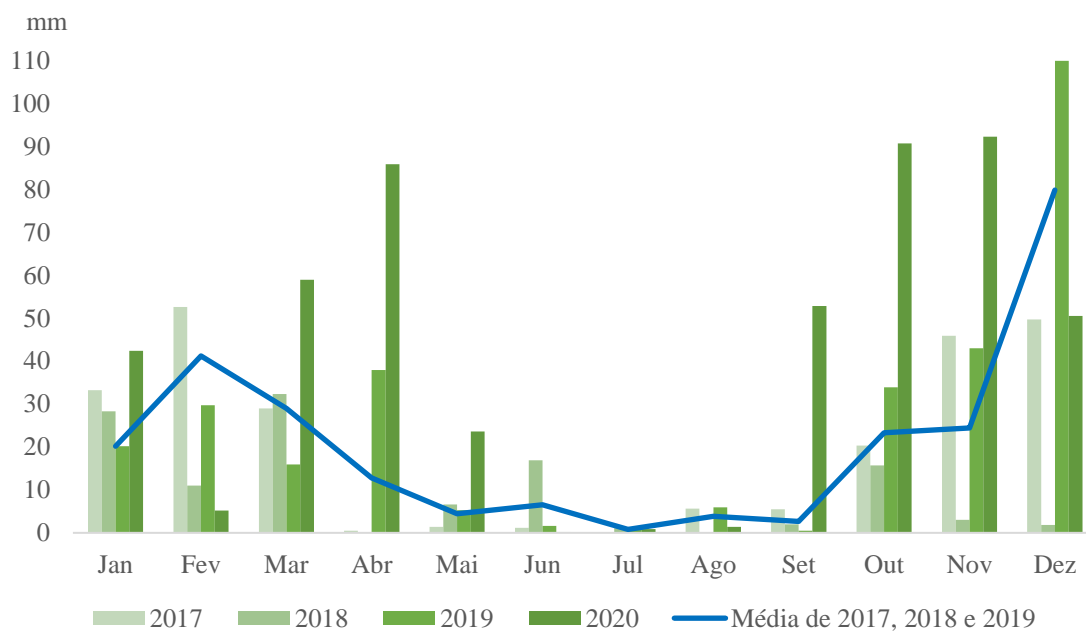


Figura 13 - Variação da precipitação de 2017 a 2020 e média de precipitação no período de 2017 a 2019

Considerando as médias mensais de efluente tratado e de precipitação ocorrida nos quatro anos monitorizados (de 2017 a 2020), elaborou-se a Figura 14, onde se pode ver que, ambas as médias têm a mesma tendência de evolução temporal em todos os meses do ano, exceto em fevereiro, onde a variação de precipitação neste período foi muito acentuada.

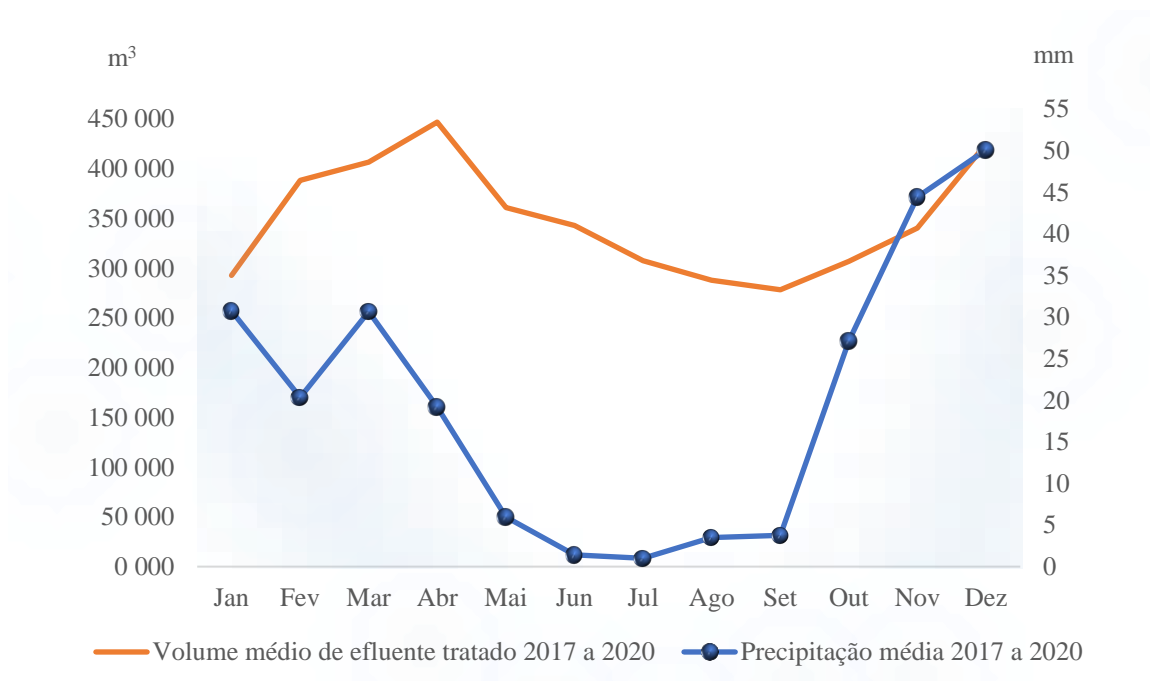


Figura 14 – Comparação da evolução temporal das médias mensais do efluente tratado pela ETAR de Évora e da precipitação ocorrida, no mesmo período

### III.2. Qualidade do Efluente Tratado

Os parâmetros analíticos: azoto total, fósforo total, carência química de oxigénio (CQO), carência bioquímica de oxigénio ao fim de cinco dias a 20 °C (CBO<sub>5</sub>, 20 °C), sólidos suspensos totais (SST), óleos e gorduras, cobre, crómio, níquel, coliformes fecais, ovos de parasitas intestinais e pH foram analisados e apresentam-se representados nas figuras seguintes (quando tal se justifica).

Estes dados resultam do programa de autocontrolo que a entidade gestora da ETAR de Évora tem implementado no âmbito do cumprimento do TURH para a Rejeição de Águas Residuais Urbanas.

Os valores que não foram representados graficamente correspondem aos parâmetros cujos resultados são inferiores ao limite de quantificação laboratorial (LQ), nomeadamente Óleos e Gorduras com valores reportados inferiores ao LQ de 2,7 mg/L. Para os parâmetros cujo TURH

não impõe VLE mas que carecem de monitorização e reporte à entidade licenciadora encontram-se o Crómio (Cr) e o Cobre (Cu) cujos resultados obtidos no período considerado foram inferiores ao LQ nomeadamente de 0,1 mg/L para cada um deles, tal como ovos de parasitas que nunca foram detetados durante o mesmo período de análise.

Todos os parâmetros de qualidade do efluente tratado cumprem de um modo geral com o respetivo TURH e já anteriormente referenciado.

De acordo com o TURH e em consonância com o previsto no Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho, na sua redação atual, o número de amostras efetuadas para o azoto total (Figura 15) e para fósforo total (Figura 16) são de doze por ano, com recolha mensal, e apenas duas amostras poderão ultrapassar os Valores Limite de Emissão (VLE) definidos no TURH, respetivamente 15 mg/L de N e 2 mg/L de P, desde que nenhuma exceda o respetivo dobro (30 mg/L de N ou 4 mg/L de P), e que a média anual de cada parâmetro seja menor ou igual ao VLE respetivo. A exigência do cumprimento destas normas de rejeição deve-se às características do meio recetor, o Rio Xarrama, inserido na área de influência da zona sensível à eutrofização Albufeira de Vale do Gaio (Diário da República, 2008).

### III.2.1 Nutrientes - Azoto Total e Fósforo Total

Um efluente tratado de origem sobretudo urbana pode representar um aporte de azoto e de fósforo que caso atinjam diretamente o meio hídrico poderão potenciar fenómenos de eutrofização, com as respetivas consequências ambientais e de saúde pública. Se em vez de se descarregar esse efluente tratado, este for encarado como ApR, por exemplo, para rega de culturas agrícolas, estes nutrientes poderão ser utilizados pelas plantas, contribuindo para suprir as suas necessidades nutricionais, e assim diminuir as eventuais aplicações de fertilizantes de síntese. Por outro lado, dada a classificação do meio hídrico (Albufeira de Vale do Gaio) como zona sensível à eutrofização, a reutilização da água permitirá contribuir diretamente para a minimização deste fenómeno. Desta forma, estar-se-á a contribuir para a produção de alimentos, numa lógica de economia circular e de forma mais sustentável. Para além de se suprir as necessidades hídricas das culturas com a ApR sem se extrair água dos ecossistemas aquáticos naturais, diminuir-se-á o uso de fertilizantes de síntese, e, portanto, a pegada de carbono associada à produção de alimentos (Moreira da Silva *et al*, 2021a).

Neste estudo, globalmente o azoto total e o fósforo total cumpriram sempre os respetivos VLE, a não ser em situações muito excecionais. Observam-se dois valores discrepantes (*outliers*) um para o azoto total em março de 2018 (32 mg/L N), e outro para o fósforo total em junho de 2019 (2,1 mg/L P). De notar que, ambas as situações não coincidiram com outras excedências para os restantes parâmetros monitorizados (ver Figuras de 15 a 21).

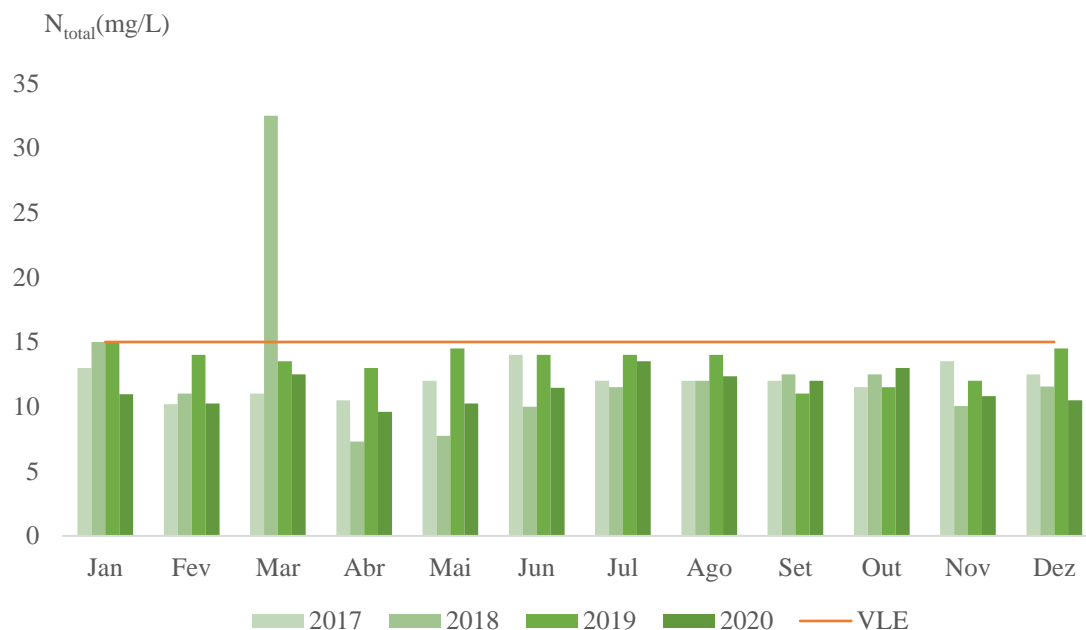


Figura 15 – Evolução temporal do azoto total no efluente tratado (LQ de 0,50 mg/L)

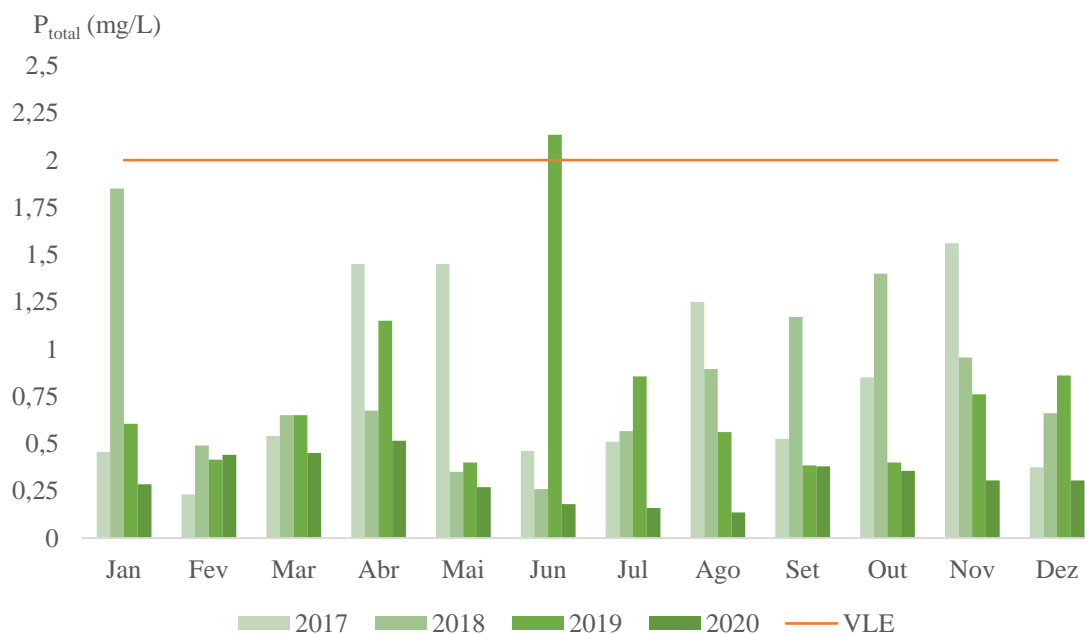


Figura 16 – Evolução temporal do Fósforo total no efluente tratado (LQ de 0,02 mg/L).

A análise dos volumes rejeitados conjugada com a qualidade dos efluentes em termos de azoto e fosforo permite determinar que nos anos em estudo (2017 a 2020) foi rejeitada uma carga média de 49840 kg de azoto e de 2799 kg de fósforo, respetivamente.

### III.2.2 Carência Química de Oxigénio e Carência Bioquímica de Oxigénio

A CQO e a CBO<sub>5</sub> são considerados indicadores da matéria orgânica presente no efluente tratado sendo o primeiro parâmetro correspondente ao valor global e o segundo à fração biodegradável. A correlação média de CBO<sub>5</sub>/CQO para os quatro anos estudados tem o valor de 0,11 <0,5, pelo que não se poderá afirmar que a maioria da carga é de origem biodegradável, mas os baixos valores também não permitem constatar que se trata de um efluente de origem industrial, para o efeito precisar-se-iam dos dados do afluente bruto (Metcalf & Eddy, 2015).

Neste estudo a monitorização efetuada da CQO (Figura 17) e da CBO<sub>5</sub> (Figura 18) evidenciou que ambos os parâmetros cumpriram sempre os VLE definidos, revelando que a ETAR conseguiu remover com sucesso a carga orgânica de origem urbana no efluente e que não parecem existir poluentes de origem industrial. Por outro lado, embora a CBO<sub>5</sub> tenha sido muito frequentemente inferior ao LQ (3 mg/L de O<sub>2</sub>), os teores de matéria orgânica biodegradável devem ser superiores aos característicos de uma água natural subterrânea, i.e., a origem habitual de água para rega na região em análise. Se se considerar utilizar o efluente tratado como ApR na rega agrícola, estes teores de matéria orgânica poderão ser importantes para melhorar a estrutura dos solos, ajudando-os a reter água e assim potenciar a produtividade das culturas, ou mesmo atrasar fenómenos de erosão tão frequentes na região do Alentejo.

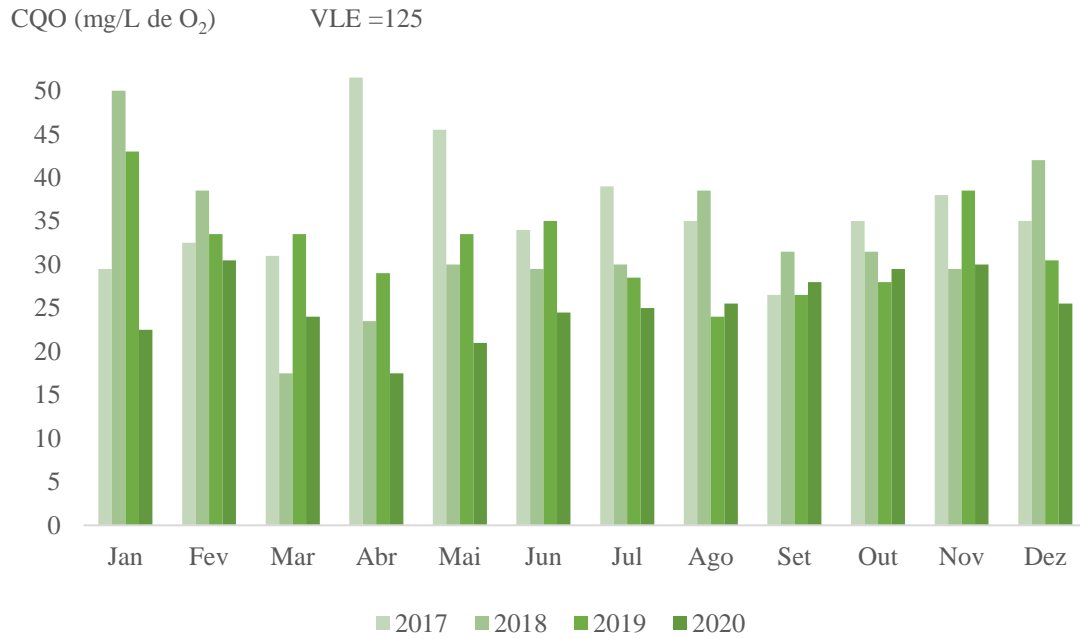


Figura 17 – Evolução temporal da Carência Química de Oxigénio no efluente tratado (LQ = 5 mg/L de O<sub>2</sub>).

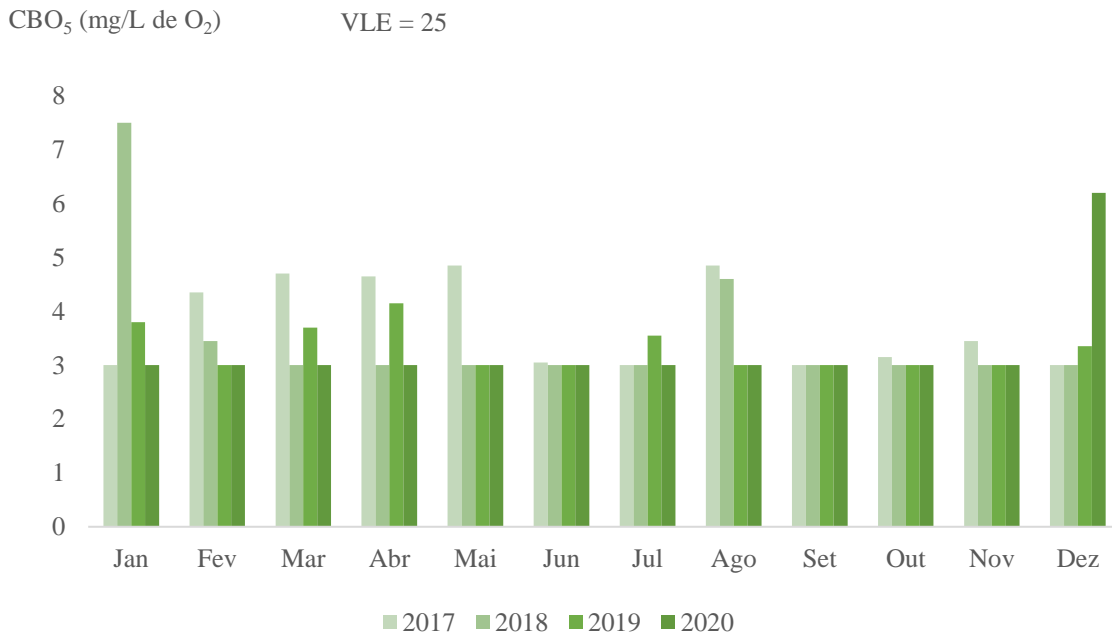


Figura 18 – Evolução temporal da Carência Bioquímica de Oxigénio no efluente tratado (LQ = 3 mg/L de O<sub>2</sub>).

### III.2.3 Sólidos Suspensos Totais

Os SST representam a matéria particulada (orgânica e inorgânica) em suspensão no efluente tratado, e caso este seja utilizado como ApR na rega agrícola, pode constituir uma dificuldade por serem passíveis de colmatar os sistemas de rega, nomeadamente se estes forem gota-a-gota. Na grande maioria das amostragens no período monitorizado (Figura 19), os SST estiveram abaixo do LQ (35 mg/L) e quando foi possível quantificarem-se nunca excederam o respetivo VLE. Em janeiro de 2019 a média mensal assumiu o valor de 17,5 mg/L (sendo na primeira quinzena deste mês que foi verificado o valor mais elevado deste parâmetro correspondente a 24 mg/L).

Assim sendo, à luz dos resultados disponíveis, os SST não deverão constituir uma limitação à utilização do efluente tratado da ETAR de Évora como ApR na rega agrícola.

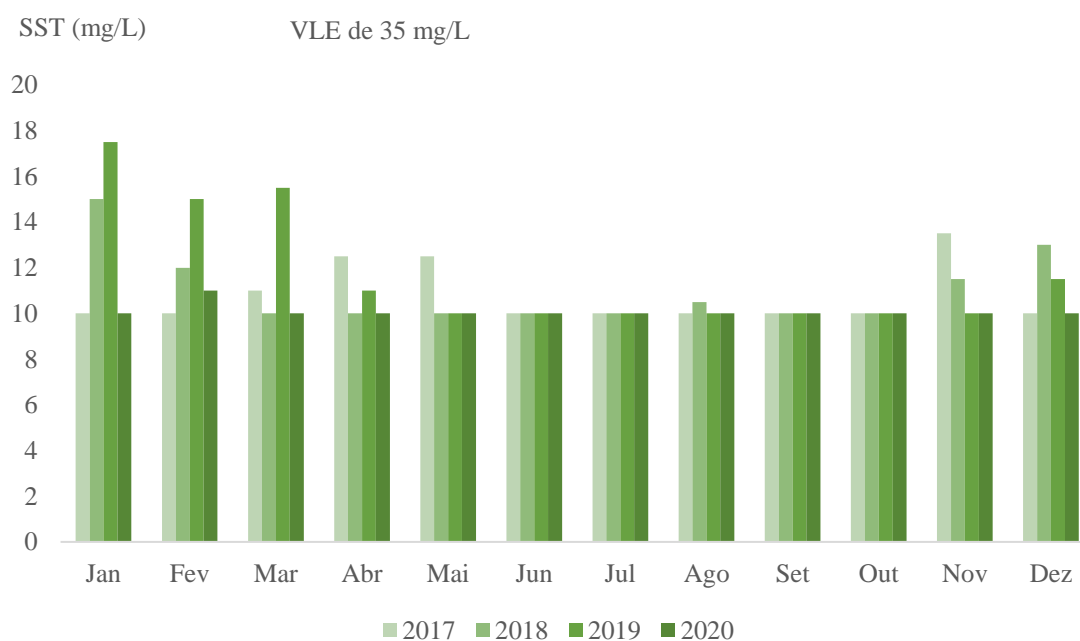


Figura 19 – Evolução temporal de Sólidos Suspensos Totais no efluente tratado (LQ de 10 mg/L).

### III.2.4 Metais – Cobre, Crómio e Níquel

A presença de metais pesados numa ApR pode, consoante o metal e os teores em que for quantificado, constituir uma ameaça para o ambiente e para a saúde humana, uma vez que estes não são biodegradáveis e se bioacumulam ao longo da cadeia trófica (Moreira da Silva *et al.*,

2021). Os Cu, Cr e Ni são micronutrientes essenciais para os seres vivos, porque participam em algumas cadeias metabólicas, mas se estiverem presentes em concentrações mais elevadas do que as que são necessárias, tornam-se tóxicos (Dalia *et al.*, 2014; Shahzad *et al.*, 2018).

A monitorização de Cu, Cr e Ni, na forma total, foi reportada semestralmente sendo que apenas os valores de níquel foram quantificados (Figura 20), uma vez que Cu e Cr se encontravam sempre abaixo dos limites de quantificação laboratorial, de 0,01 mg/L Cu e de Cr.

O Ni é muito utilizado na luta contra a corrosão, nomeadamente na produção de ligas como o aço inoxidável, e na produção de baterias recarregáveis, na fundição metálica, em revestimentos metálicos, em próteses clínicas e dentárias e em cunhagens de moedas. O níquel é um micronutriente para as plantas e para certos animais, mas não para os humanos, onde há evidências da sua toxicidade (Silva, 2004).

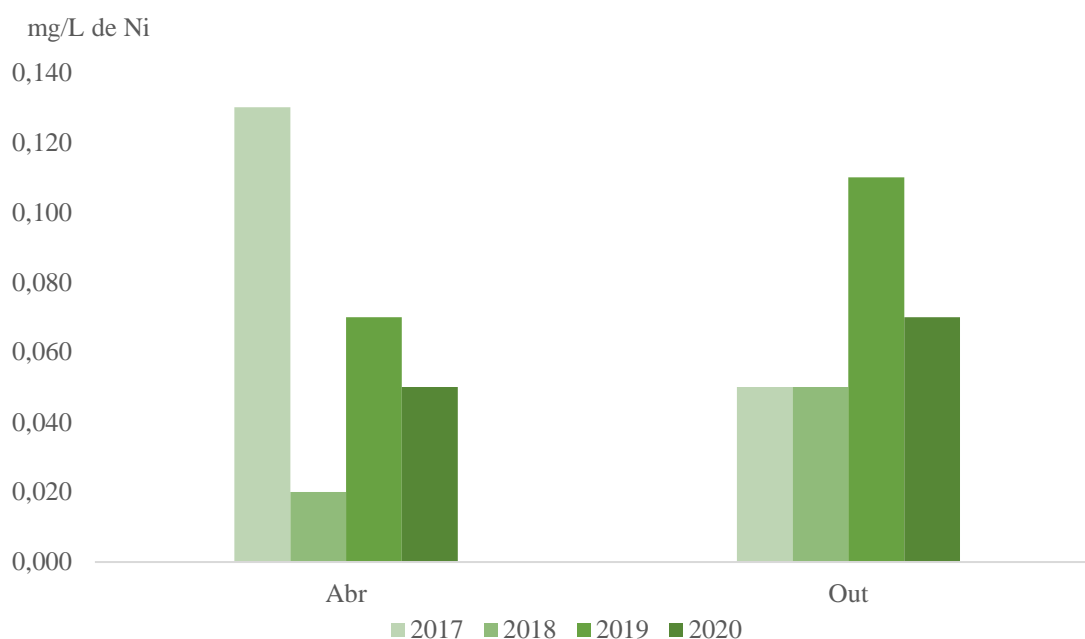


Figura 20 – Evolução temporal do Níquel no efluente tratado (LQ de 0,005 mg/L Ni).

Por outro lado, por ser um elemento que apresenta potencial para a bioacumulação, persistência e toxicidade para o ambiente aquático, este metal foi classificado como substância prioritária no domínio da água, estando os Estados Membros da UE obrigados a tomar medidas para reduzir as emissões de níquel, em particular na forma biodisponível (DQA, 2000). Uma vez que o TURH não estipula condições de descarga para este parâmetro não é legalmente exigido o cumprimento de um VLE. No caso da reutilização de água, a avaliação da afetação por este parâmetro ou demais metais acima indicados decorrerá do resultado da avaliação do risco,

conforme o previsto no Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto. Assim, neste ponto, de acordo com os dados disponíveis, não é possível inferir sobre a qualidade da água no que concerne a este parâmetro.

### III.2.5 pH

O efluente tratado apresentou valores de pH sempre dentro do intervalo definido como o valor limite emissão ( $6,00 < \text{pH} < 9,00$ ) exceto em abril e em setembro de 2018. No global o pH foi próximo da neutralidade ( $\text{pH} = 7,00$ ) e não foi observada mais nenhuma tendência de variação (Figura 21), que possa afetar a utilização deste efluente tratado como ApR.

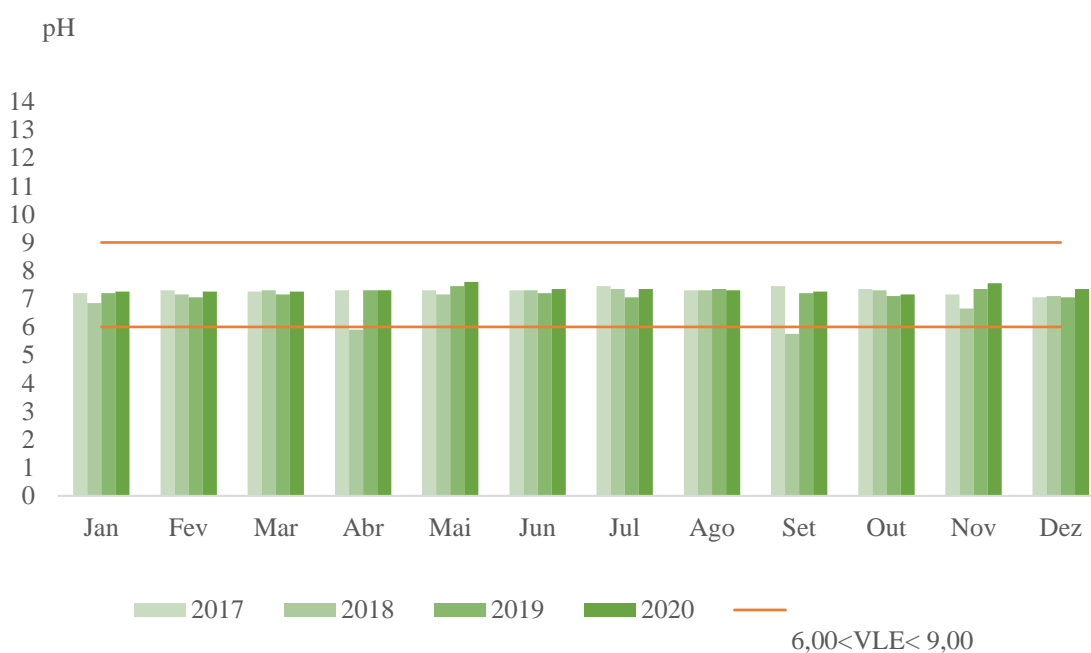


Figura 21 – Evolução temporal do pH no efluente tratado.

### III.2.6 Ovos de Parasitas Intestinais e Coliformes Fecais

Os parâmetros ovos de parasitas intestinais e coliformes fecais são indicadores da presença de organismos patogénicos no efluente tratado.

De acordo com o TURH, os coliformes fecais e ovos de parasitas intestinais devem ser pesquisados apenas quando se reutilizam as águas para a rega. Neste caso, foi efetuada a

pesquisa desses parâmetros porque atualmente, estas águas são reutilizadas nas instalações da própria ETAR. Contudo, chama-se a atenção para o facto de que este título é anterior à entrada em vigor da legislação aplicável às ApR.

Os ovos de parasitas estiveram sempre ausentes em todas as amostras pesquisadas, durante o período de monitorização.

Uma vez que a legislação aplicável às ApR estipula como indicador microbiológico a *Escherichia coli*, optou-se por considerar equivalente o parâmetro Coliformes fecais ao parâmetro *Escherichia coli*, à semelhança do previsto na alínea c) do n.º 4 do artigo 7.º do Decreto-Lei n.º 135/2009, de 3 de junho, com a redação que lhe foi dada pelo Decreto-Lei n.º 113/2012, de 23 de maio, referente à gestão da qualidade das águas balneares. Assim, para a ETAR de Évora em que o TURH contempla na norma de rejeição os coliformes fecais, poderá utilizar-se a mesma equivalência direta de 1:1 entre os dois parâmetros, à semelhança do previsto para as águas balneares e em concordância com a metodologia utilizada pela própria entidade licenciadora (APA).

Na Figura 22 observa-se que os coliformes fecais têm uma tendência de evolução temporal heterogénea, certamente condicionada pela eficiência do processo de desinfecção. Os coliformes fecais foram particularmente abundantes no efluente da ETAR de Évora durante o ano de 2017, afigurando-se ter havido alegadamente um défice na desinfecção.

No entanto, salienta-se que o próprio TURH não impõe a necessidade de cumprimento de uma norma para este parâmetro, pelo que este défice tanto poderá ter sido devido a anomalias no sistema de tratamento como a uma diminuição opcional da desinfecção. Contudo, desde 2017 até ao final do período em análise (2020) verificou-se uma elevada eficiência da ETAR, sendo que em 2020 todas as amostras apresentaram valores inferiores ao limite de quantificação (1 NMP/mL).

Este parâmetro é relevante se se pretender utilizar o efluente tratado como ApR em rega agrícola, sobretudo em culturas cuja parte consumível esteja próxima e possa contactar com a água de rega.

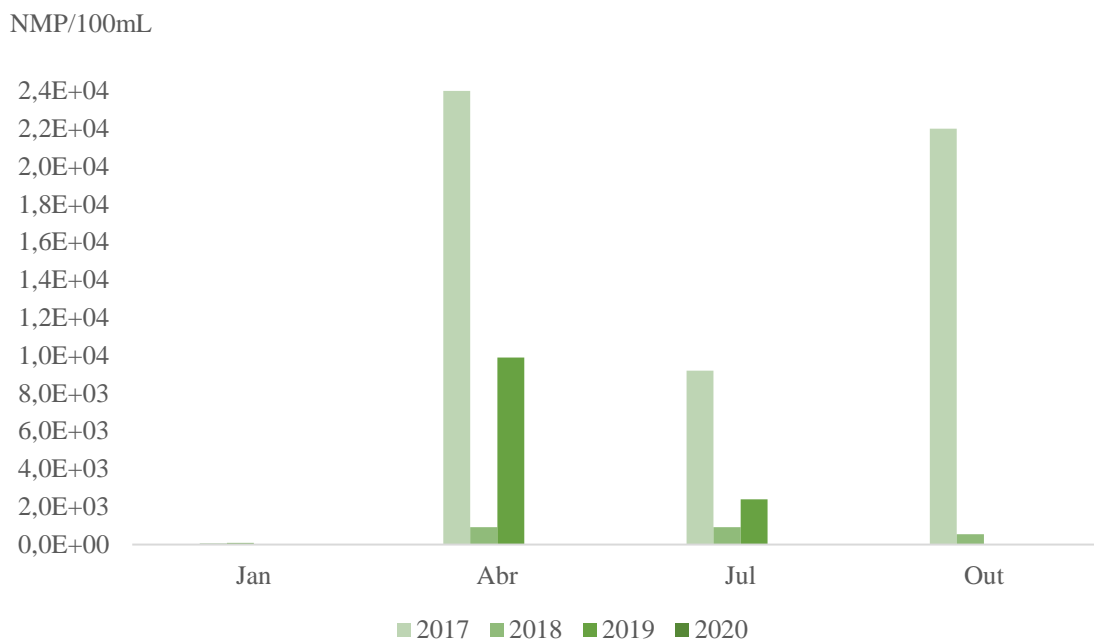


Figura 22 – Evolução temporal de coliformes fecais no efluente tratado (LQ <1 NMP/100 mL).

### III.3 Usos do Solo na Envolvente da ETAR de Évora

Num raio de 2,5 km da ETAR de Évora encontraram-se 17 usos do solo que se representam na Figura 23, o que demonstra a existência de grande potencial para diversas utilizações de ApR. Os principais usos do solo discriminam-se abaixo fazendo correspondência com a respetiva localização na periferia da ETAR de Évora.

Os usos industriais nesta envolvente enquadram-se nos usos urbanos, de acordo com o descrito no Anexo I do Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto, uma vez que não são águas para utilização em processos, mas sim águas para uso em lavagens de recintos, pistas, painéis solares, enchimento de autoclismos, incêndios, etc.



Figura 23 – Usos do solo num raio de 2,5 km da ETAR de Évora (adaptado do SILiAmbGeo; SNIG; DGT, 2021).

**Usos do solo identificados com necessidades de consumo de água:**

- A – (a própria) ETAR de Évora;
- B - Parque Fotovoltaico de Évora - Glint Energy;
- C – GreenGas. Fusion Cell Évora II, Unipessoal Lda. (produção de Hidrogénio);
- D - Parque Fotovoltaico da Herdade da Barba Rala / Casinha;
- E - Aeródromo Municipal de Évora;
- F - PIAE - Parque de Indústria Aeronáutica de Évora;
- G – Parque Industrial e Tecnológico de Évora;
- H – Zona Industrial de Almeirim Sul;
- I – Tecido urbano descontínuo (Horta das Figueiras);
- J – Vinhas;
- L – Monte da Chaminé;
- M – Central Solar Fotovoltaica de Alcamises;
- N – Florestas de eucalipto;
- O – Florestas de pinheiro manso;

P - Culturas temporárias de sequeiro e regadio;

Q - Sistemas agroflorestais de azinheira;

R - Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes

### III.4 Utilização do Efluente Tratado na ETAR de Évora como ApR

#### III.4.1 Rega (agricultura e espaços verdes)

Procede-se então com a análise da viabilidade da utilização do efluente tratado da ETAR de Évora como ApR para os usos do solo na sua envolvente, nomeadamente para a rega agrícola e de espaços verdes e usos industriais, nos termos acima indicados. Os requisitos a cumprir de acordo com o decreto-Lei nº 119/2019, de 21 de agosto estão expressos nas Tabelas 3 e 4 seguintes.

Tabela 3 - Normas de qualidade de ApR para rega (agricultura e espaços verdes)

Classe de qualidade	CBO5 (mg/L O2)	SST (mg/L)	Turvação (NTU)	<i>E. coli</i> (ufc/100m L)	Ovos de parasitas (nº/L)	Azoto amoniac al (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	Azoto total (mg/L N)	Fosforo total (mg/L P)
<b>A</b>	≤ 10	≤ 10	≤ 5	≤ 10		10	15	5
<b>B</b>	≤ 25	≤ 35		≤ 100				
<b>C</b>	≤ 25	≤ 35		≤ 1000	≤ 1			
<b>D</b>	≤ 25	≤ 35		≤ 10000	≤ 1			
<b>E</b>	≤ 40	≤ 60		≤ 10000				

(Fonte: Decreto-lei nº 119/2019, de 21 de agosto)

Tabela 4- Descrição das classes de rega – Uso e nível de tratamento adequado em função das várias classes de qualidade da água

Classe	Possíveis usos	Nível de tratamento
<b>A</b>	Rega sem restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): rega de culturas consumidas em cru em que a parte consumível está em direto contacto com a água; rega de jardins públicos sem restrição de acesso; rega de jardins privados.	Mais avançado que secundário (desinfeção).
<b>B</b>	Rega com restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em direto contacto com a água; rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos; rega de jardins com restrição de acesso, incluindo áreas de lazer e desportivas (e.g. campos de golfe).	Mais avançado que secundário (desinfeção).
<b>C</b>	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em direto contacto com a água; rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos.	Mais avançado que secundário (desinfeção).
<b>D</b>	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes, incluindo sementes para uso industrial ou produção de energia.	Mais avançado que secundário (desinfeção).
<b>E</b>	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes; rega de áreas de uso naturalmente restrito (e.g., sebes, áreas de contenção (prados em socialcos).	Mais avançado que secundário (desinfeção).

(Fonte: Decreto-lei nº 119/2019, de 21 de agosto)

Tabela 5 – Qualidade de ApR requerida pelos usos na envolvente à ETAR

Tipo de Uso	Qualidade requerida	Qualidade da água produzida na ETAR de Évora	Compatibilidade
<b>Vinha</b>	Classe C	$CBO_5 \text{ (mg/L } O_2) \leq 25$	Vinha
<b>Eucalipto</b>	Cultura não regada	---	---
<b>Pinheiro manso</b>	Cultura não regada	---	---
<b>Culturas temporárias de sequeiro e regadio (e.g. forragens)</b>	Classe C	$CBO_5 \text{ (mg/L } O_2) \leq 25$	Culturas temporárias de sequeiro e regadio (e.g. forragens)
<b>Azinheiras</b>	Cultura não regada	---	---
<b>Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes</b>	Classe C	$CBO_5 \text{ (mg/L } O_2) \leq 25$	Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes

Assim, face ao que antecede e decorrente de uma comparação direta a água tratada na ETAR de Évora apenas é compatível com a rega de vinha e de culturas temporárias tipo forrageiras, e com culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes.

### III.4.2 Usos urbanos

Procede-se à avaliação do uso das ApR produzidas pela ETAR de Évora para os usos urbanos e paisagísticos, tendo em consideração as normas de qualidade impostas pela legislação já referenciada anteriormente e expressas na Tabela 6 seguinte.

Tabela 6 - Normas de qualidade de água para usos urbanos e usos paisagísticos (fora do contexto urbano)

Parâmetro	Usos recreativos, de enquadramento paisagístico	Lavagem de ruas (5)	Água de combate a incêndios (1)	Águas de arrefecimento	Autoclismos (1)	Lavagem de veículos (4) (5)
<b>pH</b>	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
<b>CBO<sub>5</sub></b> (mg/L O <sub>2</sub> )	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25	--
<b>Turvação</b> (NTU)	≤ 5		≤ 5		≤ 5	≤ 5
<b>Azoto amoniacal</b> (mg NH <sub>4</sub> /L)	≤ 5			≤ 5	≤ 5	
<b>P<sub>total</sub></b> (mg/L)	≤ 2 (3)					
<b>E. coli</b> (ufc/100mL)	≤ 10		≤ 10	≤ 200	≤ 10	≤ 10

(Fonte: Decreto-lei nº 119/2019, de 21 de agosto)

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

(2) Pode ocorrer crescimento microbiano a valores superiores ou inferiores a esta gama de pH.

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

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

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

Face à equivalência de usos presentes na área envolvente à ETAR avalia-se seguidamente (Tabela 7) a sua compatibilidade, em função da qualidade da água produzida na respetiva estação de tratamento.

Tabela 7 - Qualidade requerida pela ApR pelos usos na envolvente à ETAR

Tipos de Usos	Equivalência de uso	Qualidade da água produzida na ETAR de Évora	Compatibilidade
<b>Parque Industrial</b>	Lavagem de ruas; Água de combate a incêndios; Enchimento de autoclismos; Lavagem de veículos	$CBO_5$ (mg/L O <sub>2</sub> ) ≤ 25 SST ≤ 35 <i>E. coli</i> > 1000 (2017 e 2019)	Apenas compatível com Lavagem de arruamentos dentro do parque
<b>Parque fotovoltaico</b>	Lavagem de veículos	$CBO_5$ (mg/L O <sub>2</sub> ) ≤ 25 SST ≤ 35 <i>E. coli</i> > 1000 (2017 e 2019)	Não compatível por <i>E. coli</i> em 2017 e 2019, em particular se a lavagem de painéis for por lavagem manual à pressão, devido aos riscos de aerolização <sup>5</sup>
<b>Tecido urbano descontínuo</b>	Lavagem de ruas;	$CBO_5$ (mg/L O <sub>2</sub> ) ≤ 25 SST ≤ 35 <i>E. coli</i> > 1000 (2017 e 2019)	Compatível
<b>Aeródromo municipal</b>	Lavagem de ruas; Água de combate a incêndios; Enchimento de autoclismos; Lavagem de veículos	$CBO_5$ (mg/L O <sub>2</sub> ) ≤ 25 SST ≤ 35 <i>E. coli</i> > 1000 (2017 e 2019)	Apenas compatível com Lavagem de arruamentos e pista
<b>Industria (produção hidrogénio)</b>	---	Água de elevada qualidade para reação de dissociação para produção de hidrogénio gasoso (fonte APA)	Não compatível

Da apreciação das tabelas acima observa-se que o parâmetro limitante aos diversos usos de ApR é a *Escherichia coli*. A avaliação anual deste parâmetro e respetiva compatibilidade com os diversos possíveis usos de ApR em presença apresenta-se na Tabela 8, onde a avaliação pressupõe a condição de que nenhum valor do parâmetro *E. coli* pode exceder a norma de qualidade em mais de 75 %, de acordo com o previsto no Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto.

<sup>5</sup> Risco de infeção por *Legionella* (Parlamento Europeu, 2020).

Tabela 8 – Compatibilidade direta da ApR em função do fator determinante a *Escherichia coli*

Ano	Valor máximo observado (NMP/100 mL)
<b>2017</b>	24000 – Não é compatível com rega; Apenas compatível com lavagem de ruas
<b>2018</b>	920 – Compatível com rega Classe C e lavagem de ruas
<b>2019</b>	9900 - Compatível com rega Classe D e lavagem de ruas
<b>2020</b>	<LQ - Compatível com rega Classe A e todos os usos urbanos em análise

Na Tabela 9 apresentam-se os valores máximos de *E. coli* possíveis de observar nas várias classes de rega com ApR, salientando-se que as excedências à norma de qualidade apenas são possíveis num dado número de amostras, dependendo do número anual de colheiras. Por exemplo em doze amostras anuais poderão ocorrer duas não conformidades, desde que nenhuma exceda os valores estabelecidos na tabela 9.

Nenhum valor do parâmetro *E. coli* pode exceder a norma de qualidade em mais de 75 % veja-se a Tabela 9 seguinte:

Tabela 9 – Valores máximos possíveis de *Escherichia coli* em amostras não conformes

Classe de Qualidade Requerida	Valor Máximo Possível de <i>E. coli</i>
<b>A</b>	$1,75 * 10 = 18$
<b>B</b>	$1,75 * 100 = 175$
<b>C</b>	$1,75 * 1000 = 1750$
<b>D</b>	$1,75 * 10000 = 17500$
<b>E</b>	Não se aplica à ETAR de Évora, porque é um sistema centralizado

O ano de 2017 de acordo com os valores referenciados em cima é um ano atípico porque certamente houve uma desinfeção diminuta das águas residuais tratadas. A partir desse ano até ao final de 2020 verificou-se uma elevada eficiência sendo que em 2020 todos os valores foram inferiores ao limite de quantificação (1 NMP/100 mL).

Assim, para os usos industriais compatíveis com os usos urbanos, só os dados do ano de 2020 são compatíveis com todos os usos presentes na área envolvente à ETAR de Évora.

Face aos dados disponíveis, observa-se uma melhoria da eficiência do sistema de tratamento das águas residuais de Évora, não sendo possível estabelecer qual a causa efetiva para esta

evidência. No entanto, tal situação poderá eventualmente advir das medidas de controlo decorrentes da situação pandémica vivida neste período, em particular as recomendações emanadas pela DGS, tais como um maior número de lavagens e aplicação generalizada de desinfetantes nas superfícies, nos espaços públicos e privados e mesmo nas rotinas de higiene pessoal. O uso generalizado de substâncias desinfetantes para múltiplos fins poderá ter sido um dos fatores que contribuíram para os resultados de *E. coli* nos efluentes tratados.

Se a ETAR mantiver o nível de tratamento e eficiência do ano de 2020, a água produzida poderá ser eventualmente compatível com quaisquer um dos usos existentes na sua envolvente, quer estes sejam agrícolas quer estes sejam urbanos/industriais. Contudo, se a qualidade se mantiver entre os níveis de valores dos anos de 2018 e 2019 apenas serão possíveis usos para rega, nomeadamente a rega de vinha, das culturas temporárias de sequeiro e regadio (e.g. forragens) e das culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes.

Para a presente análise de compatibilidade dos efluentes tratados pela ETAR de Évora com uma ApR destinada à rega, não se considera a Classe E, uma vez que esta não se aplica a sistemas urbanos como é o caso da ETAR de Évora, i.e., a Sistemas Centralizados, que são os sistemas de tratamento de águas residuais urbanas (águas residuais abrangidas pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, na sua redação atual), geridos por uma única entidade gestora, que podem produzir ApR para uso próprio, bem como para cedência a terceiros dessa ApR.

### III.5 Avaliação do risco

A avaliação do risco é a previsão da ocorrência de danos para a saúde pública ou ambiente, numa dada referência espacial e temporal e, no âmbito da produção e utilização da ApR, um elemento crucial que permitirá definir a qualidade efetiva a aplicar a cada projeto de reutilização, bem como as medidas de controlo e gestão do risco associado, incluindo os programas de monitorização aplicáveis quer às ApR, quer aos meios recetores e solos ou vegetação, no caso de rega (Rebelo & Franco, 2019).

Apesar de uma comparação direta da qualidade da ApR com o usos em presença ser possível, para validar estas eventuais compatibilidades ter-se-ia que proceder à avaliação do risco associado a cada uso e finalidade. Esta avaliação deveria incidir sobre a saúde pública e sobre o ambiente, incluindo recursos hídricos (superficiais e subterrâneos), solos e vegetação. No entanto, esta avaliação está fora do âmbito desta dissertação.

O processo de avaliação do risco teria de ser desenvolvido quer para a produção, quer para a utilização de ApR. A produção engloba todo o processo de afinação da água a partir dos efluentes secundários da ETAR de Évora, sendo a entidade gestora dos sistemas de tratamento responsável até ao denominado ponto de entrega, *i.e.*, o local onde a ApR é cedida ao utilizador final. A partir deste ponto, a responsabilidade pela gestão do risco recai sobre este último interveniente.

No processo de avaliação do risco relativo à saúde pública, para a utilização de ApR, seriam apreciados/avaliados os diversos cenários de exposição dos múltiplos recetores (trabalhadores na área de utilização da água, vizinhos, transeuntes pedestres, animais de pecuária e animais de companhia) à ApR, designadamente através das vias de inalação, adsorção dérmica e ingestão, o que permitiria caracterizar o risco e respetiva gestão nos potenciais usos pretendidos (Rebelo *et al.*, 2020, Sampaio *et al.*, 2021; Silvia & Santos, 2021).

Por outro lado para o ambiente deveriam também ser avaliados os riscos sobre os solos, vegetação e recursos hídricos onde os parâmetros referentes aos metais presentes nas águas residuais tratadas na ETAR de Évora seriam avaliados, bem como eventuais micropoluentes compostos alvo de preocupação emergente e/ou subprodutos da desinfecção, caso a avaliação determinasse a necessidade de uma desinfecção adicional por cloragem, por exemplo para prevenção de situações de recontaminação ou recrescimento (Rebelo *et al.*, 2020; Rebelo & Franco, 2019).

Uma das medidas de minimização do risco consiste na utilização de barreiras para reduzir a possibilidade de contacto da água com os seres humanos e culturas regadas. Dentro destas barreiras existe um conjunto específico, denominadas barreiras-equivalentes que permitem ainda a compatibilização da qualidade da ApR produzida com determinados usos, na medida em que incorporam uma redução teórica da carga microbiológica (ISO 16075-2: 2020; Rebelo *et al.*, 2020). As barreiras-equivalentes admissíveis em Portugal estão descritas no Decreto-Lei n.º 119/2020, de 21 de agosto e encontram-se listadas na Tabela 10, com a correspondente redução microbiológica associada. A cada barreira-equivalente corresponde ainda um dado número de barreiras, em função das respetivas características.

Tabela 10 – Barreiras-Equivalentes

Tipo de barreira	Aplicação	Redução microbiológica (em unidades logarítmicas)	N.º de barreiras-equivalentes
<b>Rega gota-a-gota</b>	Culturas de crescimento lento ( $\geq 25$ cm do solo)	2	1
	Culturas de crescimento elevado ( $\geq 50$ cm do solo)	4	2
	Rega subsuperficial, que não permite que a água ascenda à camada superficial do solo por capilaridade	6	3
<b>Rega por aspersão</b>	Rega por aspersão e microaspersão de culturas de crescimento lento ( $\geq 25$ cm do jato de água)	2	1
	Rega por aspersão e microaspersão de culturas de crescimento elevado e árvores de fruto ( $\geq 50$ cm do jato de água)	4	2
	Rega por aspersão a distâncias superiores a 70 m de áreas residenciais ou espaços de uso público	1	1
<b>Pós-desinfecção (no local de aplicação da água)</b>	Baixo nível de desinfecção	2	1
	Alto nível de desinfecção	4	2
<b>Coberturas resistentes ao sol</b>	Em sistemas de rega gota-a-gota para separar a rega das culturas agrícolas	2 a 4	1
<b>Decaimento natural de microrganismos</b>	Cessação da rega ou interrupção em período de tempo anterior à colheita	0,5 a 2 por dia	1 a 2
<b>Secagem ao sol</b>	Culturas secas ao sol antes da colheita (e.g., girassol)	2 a 4	2
<b>Controlo de acesso a áreas regadas</b>	Restrição de acesso de pelo menos 24 h após a rega (e.g. acesso de animais a pastagens ou de trabalhadores)	0,5 a 2	1
	Restrição de acesso de pelo menos 24 h após a rega	2 a 4	2
	Restrição de acesso durante as horas de irrigação em áreas públicas, de lazer ou desportivas (e.g., rega noturna)	0,5 a 1	1

A reapreciação do disposto na Tabela 8 (Compatibilidade direta da ApR em função do fator determinante a *Escherichia coli*) conjugada com o possível número de barreiras a implementar, o que constitui a abordagem multibarreiras, conforme disposto na Tabela 11 permite constatar uma ampliação dos usos possíveis para a ApR produzida pela ETAR de Évora nas atuais condições de tratamento (ISO 16075-2:2020).

Tabela 11 – Compatibilidade direta da ApR em função do fator determinante a *Escherichia coli* conjugada com o número de barreiras-equivalentes

Ano	Valor máximo observado (NMP/100 mL)	Classe de rega aplicável	N.º de barreiras aplicáveis	Compatibilidade com rega
2017	24000	Classe E	Não aplicável	Não compatível com nenhuma classe
2018	920	Classe C	1	Vinha, culturas temporárias de sequeiro e regadio (forragens) e das culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes Não compatível com rega de culturas em cru
			3	Rega de culturas de regadio consumidas em cru
2019	9900	Classe D	3	Vinha ou outras culturas permanentes (pomares, olivais)
2020	<LQ	Classe A	0	Compatível com rega de qualquer tipo de cultura

Dada a área em apreço e a tipologia de culturas em presença, algumas barreiras-equivalentes com possibilidade de aplicação em projetos de reutilização na área em estudo poderão ser: a rega gota-a-gota em culturas de crescimento lento como é o caso da vinha ( $\geq 25$  cm acima do solo) que corresponde a uma barreira; uma pós-desinfecção (no local de aplicação da água), onde um baixo nível de desinfecção corresponde a uma barreira e um alto nível a duas; a cessação da

rega ou interrupção em período de tempo anterior à colheita (decaimento natural de microrganismos) que corresponde entre uma a duas barreiras, dependendo das culturas e das condições climáticas. Por exemplo, esta prática é utilizada em alguns tipos de vinha, onde a rega é interrompida num período prévio ao início das vindimas (Rebello *et al.*, 2020).

Apesar de no presente estudo ser possível avaliar uma eventual conjugação de barreiras-equivalentes e a qualidade da ApR produzida, a seleção das barreiras-equivalentes efetivamente aplicáveis a cada projeto deverá ser a que conduz a um menor valor do risco, e, por conseguinte, a respetiva seleção só será possível após o processo de avaliação do risco (Rebello & Franco, 2019), o qual como já se referiu se encontra fora do âmbito da presente dissertação.

### III.6 Quantidade da ApR e dotação das culturas

De acordo com os valores monitorizados mensalmente no período em estudo e ainda pela observação da Figura 12 que diz respeito à evolução temporal do volume de efluentes tratados pela ETAR de Évora, tem-se que o efluente médio anual libertado é de 4 271 771 m<sup>3</sup>.

Das culturas e respetivos tipos de rega existentes na área envolvente à estação de tratamento, nomeadamente vinha, culturas temporárias de sequeiro e regadio (i.e. forrageiras) e pastagens associadas a culturas permanentes, afigura-se que a vinha regada com sistema gota-a-gota é a mais exigente em termos de dotações de rega, com o valor de 6 260 m<sup>3</sup>/hab.ano, correspondendo aproximadamente ao triplo das dotações das restantes culturas existentes (e.g. forrageiras de 3487 m<sup>3</sup>/hab.ano) (DGADR, 2018). Sendo a vinha a cultura mais exigente em termos de volumes de rega por hectare e ano estimou-se que necessite de 93900 m<sup>3</sup>/ano para regar os 15 ha. Sendo as áreas afetas às outras culturas regadas na área em estudo da mesma ordem de grandeza, afigura-se que o volume rejeitado é suficiente para as dotações de rega das culturas existentes.

#### **IV. Considerações Finais e Perspetivas Futuras**

Com este trabalho pretendeu-se contribuir para a utilização de ApR, como origem alternativa de água a ser integrada com as origens tradicionais, em regiões como o Alentejo, onde os períodos de escassez de água têm sido cada vez mais frequentes. Estudou-se assim a viabilidade do uso de ApR na cidade de Évora, com vista à redução da utilização de águas tratadas para consumo humano em fins não potáveis.

A ETAR de Évora produz por ano cerca de 4 milhões de m<sup>3</sup> distribuídos de forma praticamente uniforme ao longo do ano, que numa perspetiva meramente quantitativa, seriam suficientes para regar a área da vinha existente dentro da envolvente durante 45 anos. Assim, pode-se afirmar que a ETAR rejeita um volume de efluentes tratados suficientes para os usos compatíveis existentes na envolvente, para um período superior a um ano. A produção uniforme ao longo do ano permite constatar que se trata de uma origem alternativa confiável, conferindo resiliência aos possíveis usos, designadamente não só a rega de vinha, mas também forrageiras, olival, onde as dotações necessárias são passíveis de serem totalmente satisfeitas através do uso desta origem alternativa de água.

A avaliação da compatibilidade da qualidade da água produzida para os diversos tipos de uso em presença (rega agrícola e usos industriais compatíveis com usos urbanos) também permitiu observar que, mesmo com o nível de tratamento atual, a água residual tratada produzida a partir da ETAR de Évora pode constituir uma origem alternativa de água para rega e outros usos em presença (por exemplo a lavagem de arruamentos, pista de aeródromo e painéis fotovoltaicos), na medida em que se apresenta como uma ApR com qualidade compatível para os mesmos. Por outro lado, a adoção de uma ou mais barreiras-equivalentes, ou seja, multibarreiras, permitirá colmatar alguns problemas de excedências às normas de qualidade, permitindo inclusive ampliar o âmbito dos usos em causa, desde que a ETAR mantenha uma eficiência de tratamento igual ou superior à observada a partir de 2018. Nestes termos, a adoção de um número mínimo de três barreiras poderá permitir inclusive a rega de culturas consumidas em cru.

O uso de ApR conjugado com as necessidades de fertilização permite ainda minimizar o consumo de fertilizantes sintéticos e diminuir a rejeição direta de azoto e fósforo no meio recetor. Nomeadamente, a análise dos dados recolhidos para o presente estudo permite observar que o uso integral desta ApR permitiria reduzir anualmente uma média de 49840 kg de azoto e de 2799 kg de fósforo, contribuindo para os princípios da circularidade. Nomeadamente, esta contribuição seria alcançada através da recuperação de produtos da água e promoção dos

valores naturais pela minimização dos riscos de eutrofização pela anulação da rejeição direta destes constituintes no meio hídrico, o qual já está oficialmente classificado como em risco deste fenómeno (zona sensível ao abrigo da legislação relativa às águas residuais urbanas). A avaliação das necessidades de fertilização e minimização de consumos de produtos sintéticos não foi efetuada, mas poderá constituir futuros trabalhos de investigação na medida em que todo o azoto e fosforo e outros elementos presentes nas águas residuais tratadas poderão não estar em formas químicas passíveis de serem totalmente aproveitáveis pelas culturas.

Contudo, apesar das constatações acima mencionadas, a viabilização de qualquer projeto só poderá ser decidida após a execução do procedimento de avaliação do risco quer para a saúde pública, quer para o ambiente, incluindo recursos hídricos, solos e vegetação, uma vez que é um procedimento obrigatório de acordo com a legislação nacional e europeia atualmente em vigor. Uma vez que este procedimento está fora do âmbito desta dissertação considera relevante a existência de estudos futuros designadamente para aprofundar as metodologias de avaliação e gestão do risco dado que as mesmas ainda carecem de futuros desenvolvimentos científicos, que permitam a utilização pelos produtores e utilizadores de ApR de uma forma expedita e robusta em casos reais.

Com a utilização da ApR oriunda desta ETAR conseguir-se-á aliviar a pressão sobre os recursos hídricos naturais, sobretudo a extração de águas subterrâneas e na minimização dos riscos de eutrofização das águas superficiais pela eliminação da rejeição direta. Caso se opte pela utilização na rega, poderá ainda conseguir-se reduzir a necessidade de aplicação fertilizantes de síntese.

Este trabalho constitui assim um estudo prévio à viabilidade do uso de ApR na cidade de Évora e zona envolvente, cuja concretização terá de passar por uma avaliação do risco. Porém, a apreciação da conjugação da qualidade com multibarreiras permite desde já inferir sobre a viabilidade de adoção de medidas de controlo e gestão do risco.

## V. Referências Bibliográficas

- Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). *PENSAAR 2020 - Uma nova estratégia para o setor de abastecimento de águas e saneamento de águas residuais - Relatório #4*.
- Angelakis, A. N., Asano, T., Bahri, A., Jimenez, B. E., & Tchobanoglous, G. (2018). Water reuse: From ancient to modern times and the future. In *Frontiers in Environmental Science* (Vol. 6, Issue MAY). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>
- Angelakis, A. N., & Snyder, S. A. (2015). Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future. *Water*, 7, 4887-4895. <https://doi.org/10.3390/w7094887>
- APA. (n.d.). Retrieved June 20, 2021, from <https://apambiente.pt/agua/instrumentos>
- APA. (2019). *Plano de Gestão de Região Hidrográfica*. [https://www.apambiente.pt/\\_zdata/Políticas/Agua/PlaneamentoGestao/PGRH/PGRH\\_ParticipacaoPublica/PGRH\\_3\\_Fase\\_2/](https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Agua/PlaneamentoGestao/PGRH/PGRH_ParticipacaoPublica/PGRH_3_Fase_2/)
- APA. (2021). *SiliAmb*. Agência Portuguesa do Ambiente. <https://siliamb.apambiente.pt/pages/public/login.xhtml>
- Asano, T. (2007). *Water reuse: Issues, technologies, and applications* (1st ed.). McGraw-Hill.
- Brears, R. C. (2020). *Developing the Circular Water Economy*. Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-32575-6>
- CIMAC. (2020). *Comunidade Intermunicipal do Alentejo Central - Demografia*. CIMAC - 2020. <https://www.cimac.pt/visitante/alentejo-central/caracterizacao/demografia/>
- CM de Évora. (2013). PDM Évora - Caracterização do Território. Anexo I. *Diário Da República*, 2.<sup>a</sup> série, 6207–6231. [https://www.cm-evora.pt/wp-content/uploads/2020/11/Anexo\\_I\\_Demografia.pdf](https://www.cm-evora.pt/wp-content/uploads/2020/11/Anexo_I_Demografia.pdf)
- Dalia M. S. A., Khaled, S., Azza Ahmed El Nemr, A., & El-Sikaily, A. (2014). Comprehensive Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments along the Egyptian Red Sea Coast. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 40 (4), 349–362. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2014.11.004>
- DGADR. (2018). *DGADR - Dotações De Referência Para Rega Em Portugal Continental*. [https://www.dgadr.gov.pt/images/docs/recon\\_regantes/Quadro\\_geral.pdf](https://www.dgadr.gov.pt/images/docs/recon_regantes/Quadro_geral.pdf)
- DGS. (2021). Direção Geral de Saúde. <https://covid19.min-saude.pt/>
- Diário da República. (1997). Decreto-Lei 152/97, de 19 de Junho. *Diário Da República*, I-Série A, 4775–4780. <https://dre.pt/application/conteudo/365343>
- Diário da República. (2008). Decreto-Lei n.º 198/2008 de 8 de Outubro. *Diário Da República*, 195(1.<sup>a</sup> série), 594–606. [http://www.oern.pt/documentos/legislacao/d\\_dl\\_dr/DL198\\_2008.pdf%5Cnhttps://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2008/10/19500/0713007133.pdf](http://www.oern.pt/documentos/legislacao/d_dl_dr/DL198_2008.pdf%5Cnhttps://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2008/10/19500/0713007133.pdf)
- Diário da República. (2019). Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto. *Diário Da República* n.º 159/2019, 21–44. <https://dre.pt/home/-/dre/124097549/details/maximized>
- DQA. (2000). *Jornal Oficial Das Comunidades Europeias, Directiva*, 327/1-327/72. [https://www.apambiente.pt/dqa/assets/01-2000\\_60\\_ce---directiva-quadro-da-água.pdf](https://www.apambiente.pt/dqa/assets/01-2000_60_ce---directiva-quadro-da-água.pdf)
- EDIA. (2020). *Blocos de Rega do Monte Novo - Normas de Exploração* (p. 45). EDIA. [https://www.edia.pt/wp-content/uploads/2020/12/GuiaBP\\_online.pdf](https://www.edia.pt/wp-content/uploads/2020/12/GuiaBP_online.pdf)
- EU, P. E. (1991). Diretiva n.º 91/271/CEE: relativa ao tratamento de águas residuais urbanas.

*Jornal Oficial Das Comunidades Europeias*, L 135/40, 13.  
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/34860b42-95cc-4a57-b998-2e445d5befa9>

- European Commission. (2012). *Comunicado da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. Uma matriz destinada a preservar os recursos hídricos da Europa* (p. 9). COM(2012) 673 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013AE0534&from=PT>
- European Commission. (2020). Circular economy action plan. *European Commission, March*, 28. <https://doi.org/10.2775/855540>
- FAO. (2012). World Agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision by Alexandratos N. & Bruinsma J. In *ESA Working Paper No. 12-03* (Vol. 30, Issue 1). <https://doi.org/10.1002/jso.2930300113>
- Ferreira, W. R., Targa, M. S., & Labinas, A. M. (2019). O Uso Da Água Na Indústria De Transformação. *Revista Técnica Ciências Ambientais*, 1(2), 1–10. <http://www.agro.unitau.br/repositorio/index.php/rca/article/view/35>
- Goleman, D., Boyatzis, R., & Mckee, A. (2019). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for water reuse. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Governo Constitucional. (2019). *Programa do XXII Governo Constitucional 2019-2023*. <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=54f1146c-05ee-4f3a-be5cb10f524d8cec>
- Guppy, L., Anderson, K., Mehta, & Nagabhatla. (2017). *Global Water Crisis: The Facts*. United Nations University Institute for Water, Environment and Health, Hamilton, Canada. <http://inweh.unu.edu>
- International Organization for Standardization. (2020). *ISO 16075-2:2020 - Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 2: Development of the project*. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 20670:2018, Water reuse – Vocabulary, International Organization for Standardization*. (2018). International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:20670:ed-1:v1:en:term:3.7>
- Kearney, M. S., Harris, B. H., Hershbein, B., Jácome, E. A., & Nantz, G. (2014). *In Times of Drought: Nine Economic Facts about Water in the United States*. <https://www.brookings.edu/research/in-times-of-drought-nine-economic-facts-about-water-inthe-united-states/>
- Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A., & Anderson, J. (2013). *Milestones in Water Reuse: the best success stories*. IWA Publishing. <https://books.google.pt/books?id=gqUth3vNbfGc>
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2016). *Quatro bilhões de pessoas enfrentam grave escassez de água. Avanços científicos*. (No. 2–2; E1500323). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- Metcalf & Eddy. (2015). *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*. (Aecom (Ed.); Fifth Edit). McGraw-Hill International Edition.
- Monteiro, J., Pinto da Cunha, R. & Coelho, C. (2014). *Pensar 2020 - Uma Estratégia ao Serviço da População: Serviços de Qualidade a um Preço Sustentável*. (3).

- Moreira da Silva, M., Cristovão, L., Marinha, D., Martins, E., & António, G. F. &. (2021). Reduction of Carbon Emissions in a Mediterranean Urban Wastewater Treatment Plant. *Water and Society*, 87–93. <https://doi.org/10.2495/WS210091>
- Mourato, S. de J. M. (2009). *Modelação do Impacte das Alterações Climáticas e do Uso do Solo nas Bacias Hidrográficas do Alentejo* [Universidade de Évora]. <http://hdl.handle.net/10174/11074>
- Opher, T., Friedler, E., & Shapira, A. (2019). Comparative life cycle sustainability assessment of urban water reuse at various centralization scales. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(7), 1319–1332. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11367-018-1469-1>
- Parlamento Europeu. (2020). Regulamento (UE) 2020/741 de 25 de maio de 2020 relativo aos requisitos mínimos para a reutilização da água. *Jornal Oficial Da União Europeia*, 2019, 32–55.
- PORDATA. (2021). *PORDATA – Estatísticas, gráficos e indicadores de Municípios, Portugal e Europa*. FFMS 2021. [www.pordata.pt](http://www.pordata.pt)
- Portela, M. M., Quintela, A. C., Santos, J. F., Vaz, C., & Martins, C. (2011). *Tendências em séries temporais de variáveis hidrológicas*. <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/1302>
- Rebello, A., Quadrado, M., Franco, A., Lacasta, N., & Machado, P. (2020). Water reuse in Portugal: New legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. *Water Cycle*, 1, 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.05.006>
- Rebello, A., Farabegoli, G., Andreotti, F., Balmer, J., Vella, M., Tunen, R. Van, Gunput, S., Perikenti, S., & Ece, P. (2018). *Relatório Reutilização de Águas Urbanas* (Issue 1.0).
- Rebello, A., Ferra, I., Marques, A., & Moreira da Silva, M. (2016). Wastewater reuse: modeling chloroform formation. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(24), 24560–24566. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7749-z>
- Rebello, A., & Franco, A. (2019). *Guia Para A Reutilização De Água Usos Não Potáveis*. [https://apambiente.pt/\\_zdata/Politicar/Agua/Licenciamento/ApR/APA\\_Guia\\_Reutilizacao\\_v1.pdf](https://apambiente.pt/_zdata/Politicar/Agua/Licenciamento/ApR/APA_Guia_Reutilizacao_v1.pdf)
- Rebello, A., Quadrado, M., Franco, A., Lacasta, N., & Machado, P. (2020). Water reuse in Portugal: New legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. *Water Cycle*, 1(May), 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.05.006>
- Ribeiro, R., Rebello, A., & Rosa, M. J. (2018). Exploring the links between standardisation on water reuse and the sustainable development goals. In *Sanitation Approaches And Solutions And The Sustainable Development Goals*. Ersar.
- Saidan, M. N., Al-Addous, M., Al-Weshah, R. A., Obada, I., Alkasrawi, M., & Barbana, N. (2020). Wastewater reclamation in major Jordanian industries: A viable component of a circular economy. *Water (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/W12051276>
- Sampaio, V., Silvia, A., Santos, P., & Lima, M. (2021). *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA) Aplicação Da Metodologia Semi-Quantitativa De Avaliação Do Risco Microbiológico Para A Reutilização De Água Num Campo De Golfe Application Of The Semi-Quantitative Methodology Of Microbiologi*. 86–104.
- Santos, J. F., & Portela, M. M. (2007). Tendências em séries de precipitação mensal em Portugal continental: aplicação do teste de Mann-Kendall. *Associação Portuguesa de*

- Recursos Hídricos*. <http://hdl.handle.net/10400.26/1303>
- Sedlak, D. (2014). *Water 4.0: The Past, Present, and Future of the World's Most Vital Resource*. New Haven: Yale University Press. <https://doi.org/10.12987/9780300199352>
- Shahzad, B., Tanveer, M., Rehman, A., Sardar Alam Cheema, S. F., & Shamsur Rehman, A. S. (2018). Nickel; Whether Toxic or Essential for Plants and Environment - A Review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132 (August), 641–651. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.014>
- Silva, C. S. (2004). Níquel. *DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. 6º Distrito/GO*, 130–162. [https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3984](https://sistemas.anm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3984)
- Silvia, A., & Santos, P. (2021). *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA) Irrigação Com Água De Reúso No Brasil: Aplicação Do Modelo Semiquantitativo De Avaliação De Risco Microbiológico Para Saúde Humana Water Reuse For Irrigation In Brazil : Application Of The S. 04(50 cm)*.
- SNIRH. (2021). Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=7>
- Takeuchi, H., & Tanaka, H. (2020). Water reuse and recycling in Japan — History, current situation, and future perspectives. *Water Cycle*, 1, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.05.001>
- UN. (2016). The Sustainable Development Goals Report. *United Nations*.
- UNESCO World Water Assessment Programme. (2019). *The United Nations world water development report 2019: leaving no one behind*. Paris, UNESCO.
- UNESCO World Water Assessment Programme. (2020). *United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*.
- UNWATER. (2012). *International Recommendations for Water Statistics*. United Nations, New York, 2012. [https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesM/seriesm\\_91e.pdf](https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesM/seriesm_91e.pdf)
- UNWWAP. (2017). The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. In *Paris, UNESCO* (Vol. 53, Issue 9). UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- UNWWAP. (2020). *The United Nations World Water Development Report 2020: Water And Climate Change* (UNESCO). UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Vizinho, A., Avelar, D., Branquinho, C., Lourenço, T. C., Carvalho, S., Nunes, A., Sucena-paiva, L., Oliveira, H., Ana, L., Santos, F. D., Jos, M., & Penha-lobes, G. (2021). Framework for Climate Change Adaptation of Agriculture and Forestry in Mediterranean Climate Regions. *Land*, 10(161), 1–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/land10020161>
- Voulvoulis, N. (2018). Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 32–45. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>
- Wada, Y., Wisser, D., Bierkens, M. F. P. (2014). Global modeling of withdrawal, allocation and consumptive use of surface water and groundwater resources. *Earth System Dynamics*, 5(1), 15–40. <https://doi.org/10.5194/esd-5-15-2014>

Wennberg, C. (2020). *International Water Association - 5 major trends impacting the Water industry in the next decade*. International Water Association. <https://iwa-network.org/five-major-challenges-and-emerging-trends-impacting-the-waterindustry-%0Ain-the-next-decade/>

WHO. (2021). World Health Organization. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/interactive-timeline#category-Information>